



UNIVERSIDADE DO VALE DO TAQUARI
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

**DESENVOLVIMENTO DE UMA FERRAMENTA PARA
DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA PARA MOVIMENTAÇÃO DE
CARGA POR ROLETES ACIONADOS**

Gabriel Luis Diehl

Lajeado, novembro de 2019.

Gabriel Luis Diehl

**DESENVOLVIMENTO DE UMA FERRAMENTA PARA
DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA PARA MOVIMENTAÇÃO DE
CARGA POR ROLETES ACIONADOS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas da Universidade do Vale do Taquari – Univates, como exigência parcial para a obtenção do título de bacharel em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Dr. Guilherme Cortelini da Rosa

Lajeado, novembro de 2019.

RESUMO

A crescente expansão da automação industrial no cenário nacional, principalmente com a Indústria 4.0 e a robótica, impacta o crescimento da tecnologia aplicada aos sistemas de transporte interno de materiais, muitas vezes ignorados durante as atividades de rotina das indústrias. As esteiras de roletes proporcionam excelência no transporte de uma gama extremamente variada de produtos, desde caixas leves até paletes de peças robustas, devido a sua fácil construção e à grande disponibilidade de componentes no mercado. O projeto de esteiras de rolete inicia na coleta de informações acerca de sua aplicação, abrange a seleção de roletes e de sistemas de acionamento e transmissão, os cálculos de resistência estrutural e as análises dinâmicas, uma vez que determinado produto deve ser entregue com exatidão temporal em outro ponto do processo. O presente trabalho busca, portanto, entender o funcionamento de uma esteira de roletes para facilitar o trabalho do projetista mecânico no que diz respeito a sua construção, e criar uma planilha de cálculo que contenha a estrutura necessária para o correto desenvolvimento do projeto destes equipamentos, que podem ser utilizados em plantas industriais, em setores de logística e em células robotizadas. Após a obtenção dos dados de entrada e tomando como base as equações específicas de cada sistema, a planilha: 1) executa os cálculos de validação estrutural da base de sustentação e do suporte dos roletes; 2) apresenta os dados de potência, rotação e fator de serviço para acionar a esteira; 3) seleciona automaticamente, com base em equações, aplicação de Filtros Avançados e Macros, o rolete adequado para a esteira; 4) valida o sistema de transmissão apresentado para a esteira, com base nas potências de transmissão admissíveis conforme a ANSI; possibilitando o projeto executivo assertivo desse sistema de transporte.

Palavras-chave: Esteiras. Roletes. Projeto mecânico. Planilha eletrônica.

ABSTRACT

The growth of industrial automation in national scenery, mainly with Industry 4.0 and robotics, prompt the increase in technology applied on conveyor systems, often ignored during daily activities in industries. Roller conveyors provide excellence on transporting a great variety of products, since weightless packages to robust pallets due to its easy building process and to the big amount of assembly components for rollers conveyors. Conveyor design begins on collecting information about the application, and encompasses the selection of rollers, powering system, structural calculations and dynamic aspects, considering that product must be delivered at the right place in the right time throughout the process. This paper seeks, therefore, to understand the working subjects in a roller conveyor in order to facilitate the design of this equipment by mechanical designers, and also to create a spreadsheet containing the structure calculations to develop the project of these equipment used in industrial plants, logistical services and robotic cells. After collecting the input data, and considering the equations for all the conveyor components, the electronic spreadsheet: 1) execute the calculations to validate the conveyor base and the roller support; 2) presents the power, rotation speed and service factor to select the power engine to the conveyor; 3) select, automatically, based in some equations and applying some Excel functions, the correct roller for the system; 4) validates the transmission system, based in ANSI references for roller chain transmission; clearly informing the essential data to the mechanical designer.

Keywords: Conveyor. Roller. Mechanical design. Electronic spreadsheet.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Tipos de sistemas transportadores	18
Figura 2 - Módulo de esteira de rolete.....	19
Figura 3 - Componentes das esteiras de rolete	20
Figura 4 - Base de esteira com ajuste de altura	21
Figura 5 - Perfil lateral de uma esteira de roletes	22
Figura 6 - Motorreductor	23
Figura 7 - Sistema de transmissão de esteiras de rolete	28
Figura 8 - Sistema de transmissão por corrente e roda dentada	29
Figura 9 – Nomenclatura engrenagens	30
Figura 10 - Nomenclatura correntes de rolos	33
Figura 11 - Rolete livre Interroll.....	39
Figura 12 - Rolete acionado Interroll	40
Figura 13 - Roletes de fricção Interroll	42
Figura 14 - Distribuição de peso dos roletes	45
Figura 15 - Aspectos dimensionais dos roletes série 1100.....	46
Figura 16 - Limite de resistência à tração.....	48
Figura 17- Tensão de cisalhamento	50
Fluxograma 1 - Sequência de atividades	54
Figura 18 – Geometria da esteira.....	57
Figura 19 – Geometria do produto	58
Gráfico 1 - Fatores de serviço de motorredutores SEW Classe S	71
Figura 20 - Transmissão de potência entre roletes	72
Figura 21 - Interação manual para dimensionamento da esteira	76

Figura 22 - Resultados: base da esteira	78
Figura 23 - Resultados: perfil lateral	78
Figura 24 - Resultados: acionamento	79
Figura 25 - Resultados: transmissão	79
Figura 26 - Resultados: roletes	80
Figura 27 - Resultados: fator de serviço do acionamento	81

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Itens de uma esteira de rolete	20
Tabela 2 - Correntes ANSI	29
Tabela 3 - Rodas dentadas ANSI 40	32
Tabela 4 - Capacidades de correntes de rolos	34
Tabela 5 - Fatores de correção para número de dentes	34
Tabela 6 - Fator de correção para número de fileiras	35
Tabela 7 - Fator de serviço para correntes	36
Tabela 8 - Lubrificantes para correntes	37
Tabela 9 - Características dos roletes da série 3500	40
Tabela 10 - Características dos roletes da série 3600	41
Tabela 11 - Características dos roletes da série 3950	41
Tabela 12 - Capacidades de roletes série 3500	44
Tabela 13 - Composição química dos aços	47
Tabela 14 - Propriedades mecânicas de aços	47
Tabela 15 - Dados geométricos da esteira	58
Tabela 16 - Dados do produto transportado	59
Tabela 17 - Requisitos dinâmicos da esteira	59
Tabela 18 - Fatores de serviço da esteira	60
Tabela 19 - Requisitos do sistema de transmissão	60
Tabela 20 - Configurações de bases da esteira	61
Tabela 21 - Banco de dados de roletes	63
Tabela 22 - Roletes selecionados na etapa 1.	64

Tabela 23 – Rolete selecionado após etapa 2	64
Tabela 24 - Coeficientes de atrito para mancais	66
Tabela 25 - Braço de alavanca do atrito rolante	66
Tabela 26 - Conjunto de acionamento selecionado	70
Tabela 27 - Classificação de carga	71
Tabela 28 - Capacidades de correntes ANSI adaptada para Excel.....	77

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANSI	<i>American National Standards Institute</i>
HP	Horse-Power, unidade de medida de potência
kg/m	Quilograma por metro
kg	Quilograma
kgm ²	Quilograma por metro quadrado
kW	Quilowatts
MPa	Mega Pascal
m ³	Metro cúbico
mm	Milímetro
mm ²	Milímetros quadrados
m/s	Metros por segundo
m/s ²	Metros por segundo ao quadrado
N	Newtons
N.m	Newton-metro
rev/s	Revoluções por segundo
RPM	Rotações por minuto
SAE	<i>Society of Automotive Engineers</i>

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
1.1 Tema	13
1.2 Problema	13
1.3 Objetivos.....	14
1.3.1 Objetivos específicos.....	14
1.4 Justificativa	14
1.5 Delimitação.....	15
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
2.1 Sistemas transportadores.....	17
2.2 Aspectos geométricos da esteira	18
2.3 Componentes de um transportador de rolete	19
2.3.1 Base de sustentação da esteira	21
2.3.2 Perfil lateral.....	21
2.3.3 Motorreductor	22
2.3.4 Sistema de transmissão	27
2.3.4.1 Transmissão por corrente de rolos	28
2.4 Roletes.....	38
2.4.1 Roletes livres	38
2.4.2 Roletes acionados.....	39
2.4.3 Roletes de fricção	41
2.4.4 Roletes cônicos	42
2.4.5 Critérios para seleção de roletes	43
2.5 Aços de baixo teor carbono.....	46
2.6 Tensões.....	49
2.6.1 Tensão normal	49
2.6.2 Tensão cisalhante.....	50
2.6.3 Fator de segurança	51
3 METODOLOGIA.....	53

3.1 Classificação da pesquisa	53
3.2 Procedimento metodológico.....	54
4 DESENVOLVIMENTO.....	56
4.1 Obtenção dos requisitos	56
4.2 Cálculos	62
4.2.1 Seleção dos roletes	62
4.2.2 Dimensionamento do acionamento	65
4.2.2.1 Potência estática.....	65
4.2.2.2 Potência dinâmica.....	68
4.3 Validação do sistema de transmissão.....	71
4.4 Dimensionamento das cargas axiais e cisalhantes	73
4.5 Desenvolvimento da planilha de cálculo para dimensionamento da esteira	75
4.5.1 Seleção dos roletes no banco de dados	75
4.5.2 Obtenção dos dados das correntes para verificação da aplicação	77
4.5.3 Resultados	78
4.5.4 Determinação do fator de serviço	80
5. CONCLUSÃO.....	82
REFERÊNCIAS	84

1 INTRODUÇÃO

A automação é a tecnologia preocupada com a aplicação de conceitos mecânicos, eletrônicos e de computação que visa auxiliar e executar diversas funções, aumentando sua eficiência e a segurança na operação. Os robôs industriais tem sido o principal atuante na Automação Industrial, visto que, segundo Romano (2002), são essencialmente máquinas que realizam diversos movimentos previamente programados, adaptando-se aos requisitos operacionais de tarefas determinadas, pelo emprego de garras e/ou ferramentas selecionadas.

Em grande parte das situações, a inserção de um robô industrial em uma planta fabril consiste na alteração da logística interna do transporte do produto entre equipamento de manufatura e o sistema robótico. O transporte de materiais dentro de ambientes fabris é, portanto, uma questão de extrema importância e muitas vezes esquecida durante os processos de manufatura. Conforme Groover (2015), o manuseio de materiais deve ser realizado com baixo custo, porém de maneira eficiente, pontual, precisa e sem danificar o material transportado.

Conforme Rudenko (1976), deve-se considerar também que o fluxo de matéria prima depende da correta seleção, dimensionamento e eficiência do transportador. Essa afirmação reforça o uso de esteiras para o transporte de materiais em aplicações diversas em uma indústria.

O presente trabalho abordará o transportador de rolete, que, dentre os diversos sistemas de transportes de materiais, apresenta grande diversidade de aplicações, desde transporte livre até distribuição de diversos materiais em uma linha de produção. Essa diversidade se dá pela facilidade na automação da esteira, o que favorece sua utilização em sistemas de robotização, automatização de linhas de produção e transportes diversos.

Serão abordados os principais constituintes de uma esteira de rolete, que podem ser simplificados em estrutura, roletes para a movimentação da carga e de um sistema de acionamento e transmissão. Em alguns casos, as esteiras podem ser equipadas com acessórios pneumáticos e elétricos, para movimentação e controle dos itens transportados. Uma das vantagens da esteira de rolete é a possibilidade de acumulação de objetos, com auxílio de sensores e comandos elétricos, por meio do qual a esteira controla o ritmo da entrega de materiais.

A construção das esteiras de rolos pode ser ajustada para condições de espaço das áreas de seleção e armazenamento, assim como nos diversos requisitos de altura, inclinação, curvas, velocidades e peso do produto, segundo Madleňáková et al. (2018).

Dentro do contexto apresentado, os sistemas de transporte são extremamente importantes e, por se comportarem como equipamentos mecânicos, cabe ao Engenheiro Mecânico definir, dimensionar e aplicar os conceitos de engenharia ao sistema de transporte. As equações e relações estabelecidas nesse procedimento, aliados a um sistema de cálculo, podem simplificar e agilizar o projeto desses sistemas transportadores.

1.1 Tema

Aplicação de metodologias de cálculos existentes para dimensionar uma esteira de roletes acionados.

1.2 Problema

As diversas variáveis existentes no projeto de esteiras de rolete, a crescente necessidade do equipamento nas indústrias e as oportunidades de aumento na eficiência dos sistemas de transporte conduzem para a necessidade de elaboração de uma metodologia de cálculo para o dimensionamento rápido, eficiente e assertivo, utilizando conceitos de engenharia mecânica.

Essa necessidade se manifesta na seleção do rolete a ser utilizado na esteira, dentre os diversos fabricantes do mundo, às tensões e conceitos da estrutura da esteira e no dimensionamento do correto acionamento para a movimentação de cargas.

1.3 Objetivos

O objetivo geral deste trabalho é desenvolver uma planilha de cálculo para dimensionar esteiras de roletes acionados por corrente.

1.3.1 Objetivos específicos

- a) Definir, por meio de equações e conceitos, as principais variáveis que compõem o projeto de uma esteira de roletes acionados;
- b) Criar uma planilha de cálculo para desenvolver as equações de dimensionamento da esteira; e
- c) Selecionar os roletes para a esteira, fornecer dados técnicas para seleção do sistema de acionamento, validar o sistema de transmissão e a estrutura com base nos dados obtidos em equações e conceitos.

1.4 Justificativa

O manuseio de materiais é uma atividade importante dentro de um sistema maior, por meio da qual, segundo Groover (2015), os materiais são movidos, armazenados e rastreados em infraestruturas comerciais. Os sistemas de transporte são utilizados em grande escala nos processos de automação e na robótica industrial, porém, o manuseio de materiais é uma questão que, muitas vezes, é descuidada no processo de produção.

Groover (2015) ressalta, ainda, que transportadores motorizados são muito utilizados para transporte em sistemas automatizados de manufatura. Os transportadores de roletes são utilizados em uma ampla gama de aplicações, como manufatura, montagem, empacotamento, seleção, entre outros. Uma das grandes vantagens das esteiras de roletes é a construção de curvas no percurso do produto, característica que não é possível nos sistemas de transporte por correia ou por corrente.

No contexto apresentado, à medida que a automação e a robótica crescem no Brasil, o mesmo ocorre com os seus sistemas periféricos, que devem ser projetados de forma eficiente, utilizando-se os conceitos amplamente difundidos nos projetos de máquinas, embora não exista grande diversidade de materiais de pesquisa sobre o assunto disponíveis nos principais periódicos do país. Busca-se, então, conceituar e desenvolver uma metodologia de dimensionamento de um módulo de esteira de roletes para transportes industriais.

1.5 Delimitação

Este trabalho está restringido ao desenvolvimento de uma ferramenta para o cálculo e posterior dimensionamento de uma esteira de roletes. O método de controle de custos será baseado em escolhas de itens comerciais, que não exigem manufatura especial, sendo que não haverá análise completa do assunto. Embora os tipos de roletes existentes sejam apresentados para fins conceituais, apenas o rolete acionado será considerado para o dimensionamento, pela necessidade de movimentar materiais de peso médio, em esteiras perfeitamente niveladas ao solo, posicionadas em linha reta. O material utilizado para o dimensionamento estrutural da esteira será um aço de baixo carbono, sem a apresentação de cálculos de comparação entre diferentes ligas metálicas.

Os materiais apresentados para a seleção de componentes da esteira são obtidos de fornecedores definidos, sendo que não serão analisadas as diferenças entre fornecedores de um mesmo item, mesmo que essa análise possa trazer ganho relativo em custos de produção. Em relação ao sistema de acionamento, será utilizado motorreductor formado por um motor elétrico trifásico de indução assíncrono e um redutor de rosca sem-fim da marca SEW-Eurodrive, determinada pela letra S. A transmissão de potência será realizada por corrente de rolos, que

representa a grande maioria dos casos de esteiras de roletes existentes no mercado de transportadores, considerando as correntes de norma ANSI e utilizando essa norma para as considerações de potência admissível, considerando que, conforme a Interroll (2011), não recomenda-se velocidades acima de 0,5 metros por segundo para esteiras movidas a correntes.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

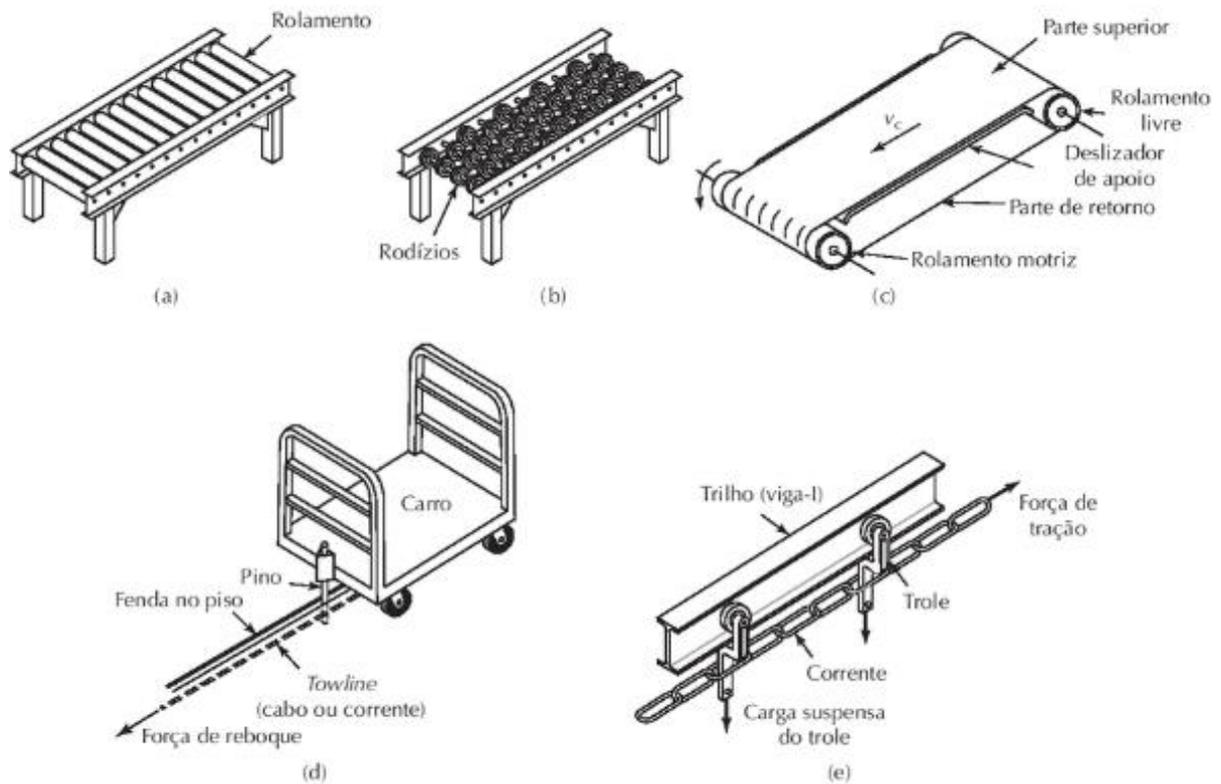
No capítulo a seguir são apresentados os conceitos necessários para o embasamento teórico deste trabalho.

2.1 Sistemas transportadores

Conforme descrito por Lamb (2015), sistemas transportadores são utilizados para conduzir objetos ou substâncias de um lugar para outro. O transporte pode ser, então, de matéria-prima para um processo ou para alimentação de outros equipamentos em uma planta fabril. Deve-se considerar também que o “fluxo de matéria-prima das empresas depende essencialmente da escolha correta e racional do tipo de máquina de transporte, seus principais parâmetros e eficiência de trabalho” (RUDENKO, 1976).

As máquinas de transporte podem ter acionamento por motores elétricos, sistemas pneumáticos, hidráulicos ou por gravidade, dependendo de sua aplicação. Segundo Groover (2015), uma variedade de equipamentos transportadores está disponível no mercado. Os principais transportadores estão representados na Figura 1, sendo que: a) transportador de roletes; b) transportador de rodízios; c) transportador de correia; d) transportador com cabo de rebocar; e e) transportador aéreo.

Figura 1 – Tipos de sistemas transportadores



Fonte: Groover (2015, p. 239).

2.2 Aspectos geométricos da esteira

As esteiras de roletes são comumente divididas em módulos. Cada um destes módulos compreende determinada distância e aplicação, de acordo com a necessidade específica de transporte de materiais. O módulo de esteira de roletes possui, portanto, comprimento, largura e altura definidos. A Figura 2 apresenta um módulo de esteira de roletes.

Figura 2 – Módulo de esteira de rolete



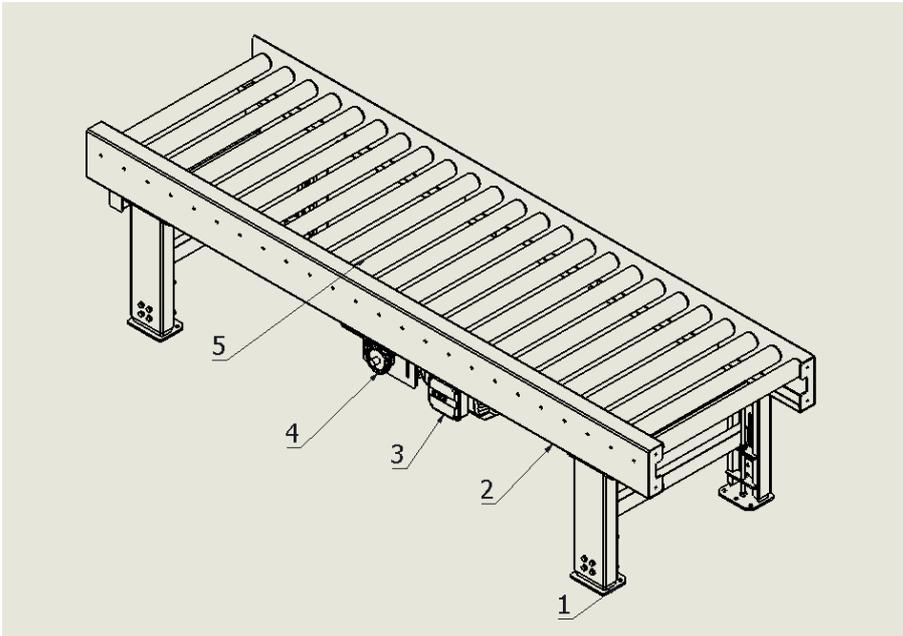
Fonte: GrabCad Community. Roller Conveyor. Disponível em: <https://grabcad.com/library/roller-conveyor-26>.

Como descrito acima, cada aplicação possui particularidades, sendo que o comprimento do módulo é definido de acordo com o vão a ser vencido, a largura depende diretamente do produto transportado e a altura varia conforme o destino dos produtos.

2.3 Componentes de um transportador de rolete

Diversos são os componentes presentes em uma esteira de roletes. Eles são exibidos na Figura 3 e apresentados na Tabela 1. Todos os componentes são vitais para o bom desempenho da esteira, sendo que, caso haja dimensionamento equivocado de um desses itens, o transporte não poderá ser realizado. Os conceitos de cada item serão apresentados no decorrer do trabalho.

Figura 3 – Componentes das esteiras de rolete



Fonte: o autor (2019).

Tabela 1 – Itens de uma esteira de rolete

Número	Nomenclatura
1	Base da Sustentação da Esteira
2	Perfil Lateral
3	Motorreductor
4	Sistema de Transmissão
5	Rolete

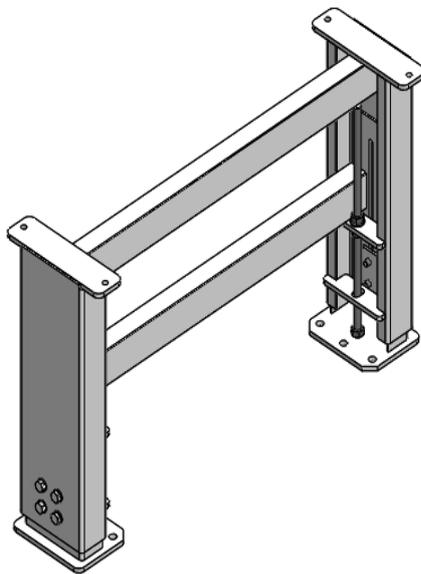
Fonte: o autor (2019).

2.3.1 Base de sustentação da esteira

A base da esteira é responsável pela sustentação de todo o sistema. Embora sejam encontradas diversas configurações de bases de esteiras, um dos conceitos se reproduz na maioria dos modelos: o ajuste de altura.

O ajuste de altura da base da esteira é fundamental para o correto funcionamento do equipamento, pois é necessário nivelar a estrutura de roletes para que ela possua o maior rendimento possível. Uma inclinação na esteira causaria variações na velocidade do produto, podendo conduzi-lo de forma extremamente acelerada ou desacelerando-o. Na Figura 4, percebe-se a transposição de dois perfis dobrados do tipo C, regulados por uma barra roscada e fixos por 4 parafusos, possibilitando ajuste fino da altura para correto nivelamento da esteira.

Figura 4 – Base de esteira com ajuste de altura

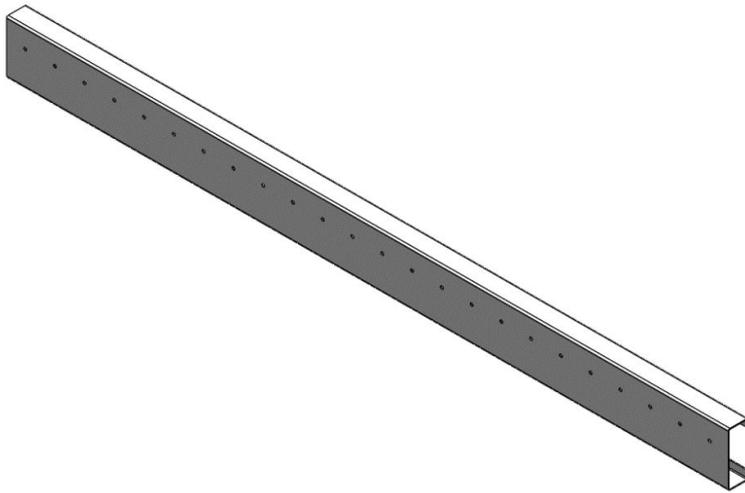


Fonte: o autor (2019).

2.3.2 Perfil lateral

O perfil lateral de uma esteira de roletes é responsável por sustentar os roletes e a carga do material transportado. O perfil é submetido a forças cisalhantes do sistema de fixação dos roletes, que são o resultado da massa do rolete somada à massa do produto. A Figura 5 apresenta um perfil utilizado na lateral de uma esteira de roletes acionados.

Figura 5 – Perfil lateral de uma esteira de roletes



Fonte: o autor (2019).

2.3.3 Motorreductor

Os motorredutores são a combinação entre um motor elétrico e um sistema redutor de engrenagens, que, conjuntamente, fornecem o movimento rotativo com torque e potência desejável para a aplicação específica (MOTT, 2015). Segundo Serway e Jewett (2008, p. 200), potência é a “taxa na qual a energia é transferida”, sendo o fator determinante na seleção de um sistema de acionamento. Sua utilização reduz o espaço físico necessário para o acionamento e elimina a necessidade de outros componentes, como acoplamentos e mancais. A Figura 6 apresenta um motorreductor.

Figura 6 – Motorreductor



Fonte: Mott (2015, p. 441).

Conforme a SEW-Eurodrive (2007), para o correto projeto do acionamento, é necessário ter os dados do sistema a ser acionado, como massa e a rotação. Com esses dados, é possível determinar a potência e o torque do acionamento, selecionando o modelo adequado em catálogo de fabricantes. A sequência de equações para determinar a potência de um motor é apresentada abaixo, onde as considerações sobre momentos de inércia são aplicados somente para o caso de esteiras de rolete.

A potência exigida, P , para transportar uma determinada massa é definida pela soma da Potência Estática, P_S , e da Potência Dinâmica, P_{DL} , como apresentado na Equação (1):

$$P = P_S + P_{DL} \quad (1)$$

De acordo com a SEW-Eurodrive (2007), a potência estática, P_S , é a potência em velocidade constante, principalmente considerando as forças de atrito e gravitacionais. Essa fração da potência total é determinada pela Equação (2):

$$P_S = \frac{F_F \cdot v}{\eta_G \cdot \eta_2} \quad (2)$$

Onde:

F_F = Força de resistência à translação, em N.

v = Velocidade máxima, em m/s.

η_G = Rendimento do redutor.

η_2 = Rendimento total das correntes de transmissão.

A equação que determina a resistência à translação (F_F) é composta, conforme a SEW-Eurodrive (2007), pelo braço de alavanca do atrito rolante, atrito do mancal e atrito do flange da roda, resultando na Equação (3).

$$F_F = m \cdot g \cdot \left[\frac{2}{D} \left(\mu_L \frac{d}{2} + f \right) + c \right] \quad (3)$$

Onde:

m = massa, em Kg

g = Aceleração da gravidade, em m/s²

D = Diâmetro da roda livre, em mm

μ_L = Coeficiente de atrito do mancal

d = Diâmetro do mancal, em mm

f = Braço de alavanca do atrito rolante, em mm

c = Coeficiente de atrito lateral (flange da roda)

A potência dinâmica, P_{DL} , definida pela SEW-Eurodrive (2007) como a potência necessária para aceleração e desaceleração do conjunto movido é apresentada na Equação (4).

$$P_{DL} = \frac{M_{DL} \cdot n_M}{9550} \quad (4)$$

Em que:

M_{DL} = Torque de aceleração dinâmico, em N.m

n_M = Rotação do motor, em rpm

O torque de aceleração dinâmico para o dimensionamento de esteiras de rolete, conforme a SEW-Eurodrive (2007), é exposto na Equação (5).

$$M_{DL} = \frac{\frac{J_X}{\eta} \cdot n_M}{9,55 \cdot t_A} \quad (5)$$

Em que:

J_X = Momento de inércia de massa externa total, em kgm^2

η = Rendimento do conjunto de transmissão

n_M = Rotação do motor, em rpm

t_A = Tempo de aceleração da carga, em segundos

“O momento de inércia de massa de um corpo é uma medida da resistência do corpo à aceleração angular” (Hibbeler, 2004, p. 413). Conforme a SEW-Eurodrive (2007), para que o desempenho de um acionamento seja calculado, todos os momentos de inércia de massa que serão acelerados deverão ser referidos ao eixo do motor. O momento de inércia de massa externa total, conforme a SEW-Eurodrive (2007), está representada na Equação (6).

$$J_{XT} = J_{XP} + J_{XR} \quad (6)$$

Onde:

J_{XT} = Momento de inércia de massa externa total

J_{XP} = Momento de inércia de massa do produto

J_{XR} = Momento de inércia de massa reduzida

Para o cálculo do momento de inércia reduzido para o eixo do motor da massa movimentada, J_{XT} , utiliza-se a Equação (7), segundo a SEW-Eurodrive (2007).

$$J_{XT} = 91,2 \cdot m \cdot \left(\frac{v}{n_M}\right)^2 \quad (7)$$

Onde:

m = massa movimentada, em kg

v = velocidade da esteira, em m/s

n_M = rotação do motor, em rpm

Conforme a SEW-Eurodrive (2007), o momento de inércia do rolete, é dado pela Equação (8).

$$J = \frac{1}{2} \cdot m \cdot (r_2^2 + r_1^2) \quad (8)$$

Em que:

J = momento de inércia do rolete, em kgm^2

r_2 = raio externo do rolete, em metros

r_1 = raio interno do rolete, em metros

“Para se ter um ponto de referência comum de momento de inércia de massa do motor e momento de inércia de massa externa, o momento de inércia de massa externa deve ser “reduzido” pela rotação do redutor” (SEW-Eurodrive, 2007, p. 110). Portanto, o momento de inércia de massa de um rolo, J_X , em kgm^2 , reduzido para o eixo do motor, é apresentado na Equação (9).

$$J_X = J \left(\frac{n_a}{n_M} \right)^2 \quad (9)$$

Em que:

n_a = rotação de saída do conjunto redutor, em rpm

Para o dimensionamento do redutor, é utilizada sequência de equações dispostas a seguir, com base no Manual de Acionamentos da SEW-Eurodrive (2007).

A rotação de saída necessária, n_A , é determinada pela Equação (10):

$$n_A = \frac{v \cdot 1000 \cdot 60}{\pi \cdot D_2} \quad (10)$$

Onde:

v = Velocidade máxima da esteira, em m/s

D_2 = Diâmetro externo do rolete, em mm

A relação de transmissão, I , é calculada conforme a Equação (11):

$$I = \frac{n_M}{n_A} \quad (11)$$

Onde:

n_M = Rotação do motor

Conforme a SEW-Eurodrive (2007), o torque de saída do acionamento define o tamanho do redutor. Esse torque é calculado considerando a potência nominal do motor, P_N , em kW, a rotação de saída do redutor, n_A , em rpm, e o rendimento do redutor, conforme a Equação (12).

$$M_A = P_N \cdot \eta_G \cdot \frac{9550}{n_A} \quad (12)$$

Pode ser necessário, após selecionar um redutor conforme os dados já calculados, recalcular a potência estática para o novo rendimento do redutor. A partir dos dados obtidos acima, pode-se selecionar um conjunto de acionamento para esteiras de roletes acionados.

2.3.4 Sistema de transmissão

Conforme indicado pelos fabricantes de roletes, estes componentes podem ser acionados ou livres. Os transportadores acionados são normalmente impulsionados por motores elétricos e a transmissão de potência ocorre por correias ou correntes, considerando que as correntes são utilizadas para o transporte de cargas mais pesadas.

“Para que se possa fazer uso de transportadores de roletes não motorizados, o percurso deve ter inclinação para baixo suficiente para vencer o atrito do rolamento (GROOVER, 2015). “Esses sistemas transportadores sem energia são usados em corridas horizontais curtas onde os

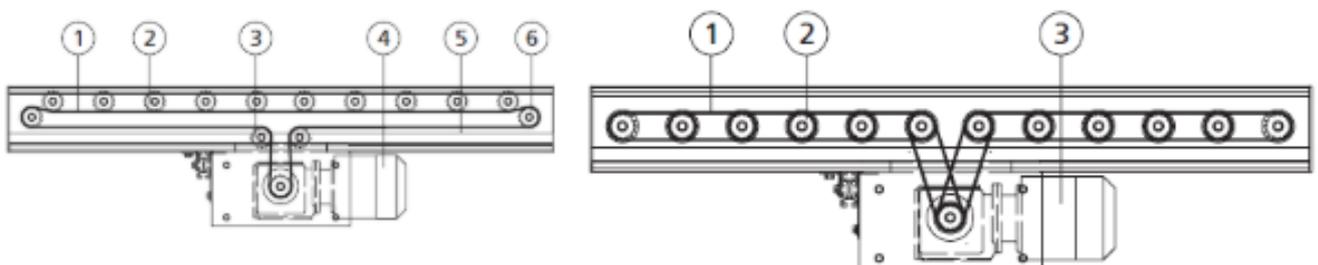
operadores passam seus produtos de uma extremidade para outra, ou quando os produtos vão de um nível para outro”, segundo Lamb (2015, p. 183). Nesse caso, conforme Interroll (2011), em sua Seção de Planejamento de Transportadores, o transportador de roletes livre é uma opção barata e de fácil manejo, em que a velocidade obtida depende principalmente da energia potencial obtida pela diferença de altura entre o início e o fim do percurso, do atrito entre os roletes, da velocidade com que o produto entra no transportador e o peso do material.

2.3.4.1 Transmissão por corrente de rolos

Conforme Shigley (2008), correias, cabos, correntes e outros elementos de máquinas flexíveis são utilizados para a transmissão de potência em sistemas de transporte em substituição às engrenagens, eixos ou outros elementos rígidos. A utilização desses métodos de transmissão reduz significativamente os custos de fabricação de um equipamento e facilita sua modelagem.

Nas esteiras de roletes, existem duas configurações mais comuns de transmissão de potência por correntes, onde “Uma única corrente pode acionar todos os rolos, ou eles podem ser unidos com ligações rolo a rolo”, conceito apresentado por Lamb (2015, p. 183). A Figura 7 apresenta o sistema de transmissão tangencial, com uma corrente que aciona todos os roletes (esteira da esquerda) e no caso em que os roletes são movidos em ligações rolo a rolo (esteira da direita).

Figura 7 – Sistema de transmissão de esteiras de rolete



Fonte: Interroll (2011, p. 256).

A transmissão de potência por correntes possui como principais características a razão constante, vida longa e a capacidade de acionar diversos eixos simultaneamente. A ANSI padronizou as correntes de rolos, de acordo com seus tamanhos, conforme a Tabela 2.

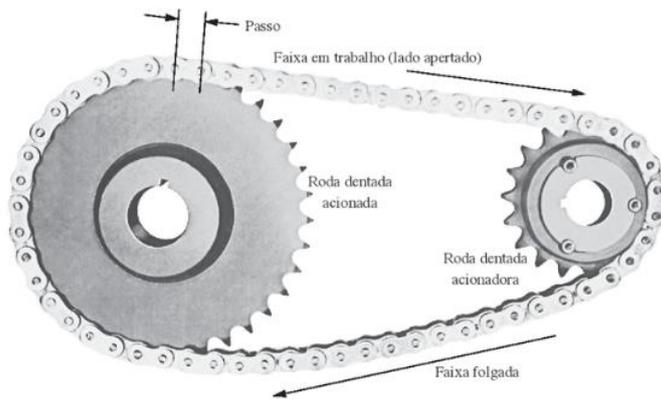
Tabela 2 – Correntes ANSI

Número de corrente ANSI	Passo, in (mm)	Largura, in (mm)	Resistência de tração mínima, lbf (N)	Peso médio, lbf/ft (N/m)	Diâmetro do rolete, in (mm)	Espaçamento de fileira dupla, in (mm)
25	0,250 (6,35)	0,125 (3,18)	780 (3 470)	0,09 (1,31)	0,130 (3,30)	0,252 (6,40)
35	0,375 (9,52)	0,188 (4,76)	1 760 (7 830)	0,21 (3,06)	0,200 (5,08)	0,399 (10,13)
41	0,500 (12,70)	0,25 (6,35)	1 500 (6 670)	0,25 (3,65)	0,306 (7,77)	— —
40	0,500 (12,70)	0,312 (7,94)	3 130 (13 920)	0,42 (6,13)	0,312 (7,92)	0,566 (14,38)
50	0,625 (15,88)	0,375 (9,52)	4 880 (21 700)	0,69 (10,1)	0,400 (10,16)	0,713 (18,11)
60	0,750 (19,05)	0,500 (12,7)	7 030 (31 300)	1,00 (14,6)	0,469 (11,91)	0,897 (22,78)

Fonte: adaptado de Budynas e Nisbett (2011, p. 914).

Conforme Mott (2015, p. 297), “quando se transmite a potência entre eixos de rotação, a cadeia de elos (corrente) engata rodas correspondentes com dentes, chamadas de rodas dentadas”. A Figura 8 apresenta o sistema de transmissão por corrente e roda dentada.

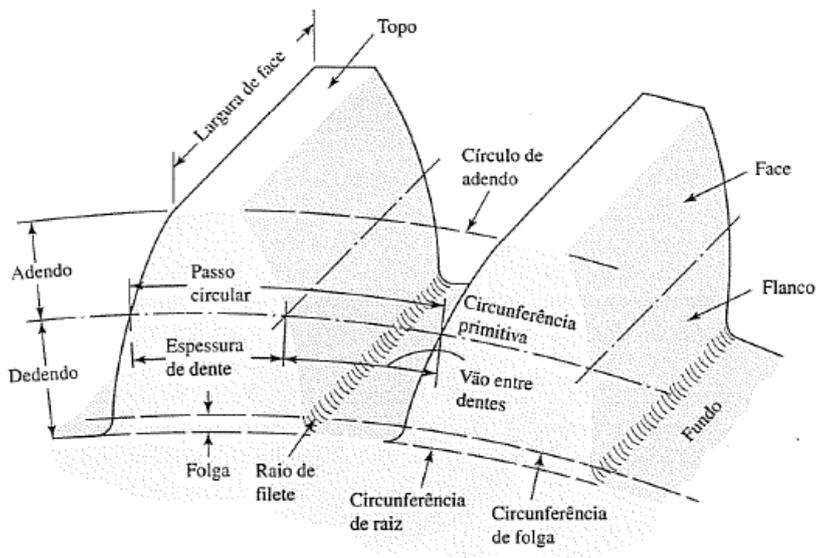
Figura 8 – Sistema de transmissão por corrente e roda dentada



Fonte: Mott (2015, p. 297).

As rodas dentadas ou engrenagens definem a velocidade do sistema, uma vez que a variação do diâmetro primitivo da engrenagem causa aceleração ou redução da velocidade tangencial. Diversas são as nomenclaturas utilizadas no projeto e seleção de engrenagens. Conforme Shigley (2008), o diâmetro primitivo é uma propriedade do círculo primitivo, que consiste em uma geometria teórica em que os cálculos de engrenagens se baseiam. Além do diâmetro primitivo, umas das principais características é o passo da engrenagem, que se caracteriza pela distância, medida no círculo primitivo, de um ponto do dente ao mesmo ponto do próximo dente. Este pode ser definido, também, como a espessura do dente somada à largura de espaçamento entre os dentes. A Figura 9 ilustra as nomenclaturas de maior utilização no projeto de engrenagens.

Figura 9 – Nomenclatura engrenagens



Fonte: Shigley (2008, p. 630).

Conforme Shigley (2008), o diâmetro primitivo da roda dentada é definido pela Equação (13), onde p é o passo da corrente, y é o ângulo de passo da corrente, que pode ser reescrito por $y = 360/N$, onde N é o número de dentes da roda dentada, e D é o diâmetro primitivo a ser calculado.

$$D = \frac{p}{\text{sen}\left(\frac{180^\circ}{N}\right)} \quad (13)$$

A velocidade da corrente, expressa por V , é determinada em relação a quantidade de metros saindo da roda dentada por unidade de tempo, conforme Shigley (2008), sendo definida na Equação (14):

$$V = Npn \quad (144)$$

Onde n é a velocidade da roda dentada, em rev/s.

Para fins de comercialização e intercambialidade, as rodas dentadas também são padronizadas pela ANSI. A Tabela 3 apresenta dados extraídos de um fabricante de rodas dentadas utilizando a norma ANSI, Série 40 com furo-guia do Tipo B.

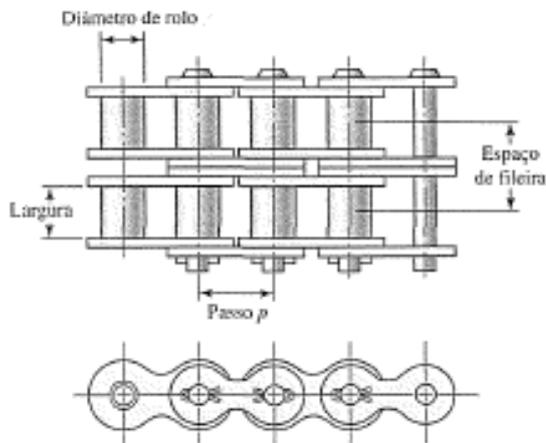
Tabela 3 – Rodas dentadas ANSI 40

No. de dentes (Z)	Diâmetro externo (OD)	Tipo	Diâmetro Furo		Cubo		Peso	Designação
			mín	máx	H	L		
	Pol		Pol	Pol	Pol	Libras		
8	1,50	B	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{31}{32}$	$\frac{7}{8}$	0,18	PHS 40-1B8
9	1,67	B	$\frac{1}{2}$	$\frac{9}{16}$	1 $\frac{1}{16}$	$\frac{7}{8}$	0,20	PHS 40-1B9
10	1,84	B	$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{4}$	1 $\frac{1}{4}$	$\frac{7}{8}$	0,27	PHS 40-1B10
11	2,00	B	$\frac{1}{2}$	$\frac{7}{8}$	1 $\frac{3}{8}$	$\frac{7}{8}$	0,35	PHS 40-1B11
12	2,17	B	$\frac{1}{2}$	1	1 $\frac{9}{16}$	$\frac{7}{8}$	0,45	PHS 40-1B12
13	2,33	B	$\frac{1}{2}$	1 $\frac{1}{16}$	1 $\frac{9}{16}$	$\frac{7}{8}$	0,50	PHS 40-1B13
14	2,49	B	$\frac{1}{2}$	1 $\frac{1}{8}$	1 $\frac{11}{16}$	$\frac{7}{8}$	0,59	PHS 40-1B14
15	2,65	B	$\frac{1}{2}$	1 $\frac{1}{4}$	1 $\frac{13}{16}$	$\frac{7}{8}$	0,70	PHS 40-1B15
16	2,81	B	$\frac{5}{8}$	1 $\frac{3}{8}$	2	$\frac{7}{8}$	0,79	PHS 40-1B16
17	2,98	B	$\frac{5}{8}$	1 $\frac{7}{16}$	2 $\frac{1}{8}$	1	1,04	PHS 40-1B17
18	3,14	B	$\frac{5}{8}$	1 $\frac{1}{2}$	2 $\frac{5}{16}$	1	1,22	PHS 40-1B18
19	3,30	B	$\frac{5}{8}$	1 $\frac{3}{4}$	2 $\frac{1}{2}$	1	1,43	PHS 40-1B19
20	3,46	B	$\frac{5}{8}$	1 $\frac{7}{8}$	2 $\frac{5}{8}$	1	1,56	PHS 40-1B20
21	3,62	B	$\frac{5}{8}$	1 $\frac{7}{8}$	2 $\frac{3}{4}$	1	1,73	PHS 40-1B21
22	3,78	B	$\frac{5}{8}$	1 $\frac{7}{8}$	2 $\frac{7}{8}$	1	1,96	PHS 40-1B22
23	3,94	B	$\frac{5}{8}$	2	3	1	2,13	PHS 40-1B23
24	4,10	B	$\frac{5}{8}$	2 $\frac{1}{4}$	3 $\frac{1}{4}$	1	2,41	PHS 40-1B24
25	4,26	B	$\frac{5}{8}$	2 $\frac{1}{4}$	3 $\frac{1}{4}$	1	2,54	PHS 40-1B25
26	4,42	B	$\frac{5}{8}$	2 $\frac{1}{4}$	3 $\frac{1}{4}$	1	2,58	PHS 40-1B26
27	4,58	B	$\frac{5}{8}$	2 $\frac{1}{4}$	3 $\frac{1}{4}$	1	2,66	PHS 40-1B27
28	4,74	B	$\frac{5}{8}$	2 $\frac{1}{4}$	3 $\frac{1}{4}$	1	2,73	PHS 40-1B28
29	4,90	B	$\frac{5}{8}$	2 $\frac{1}{4}$	3 $\frac{1}{4}$	1	2,80	PHS 40-1B29
30	5,06	B	$\frac{5}{8}$	2 $\frac{1}{4}$	3 $\frac{1}{4}$	1	2,98	PHS 40-1B30

Fonte: Enco. Rodas dentadas: catálogo completo. Disponível em: <http://www.enco.com.br/catalogos/rodas-dentadas.pdf>.

Segundo Budynas e Nisbett (2011), o passo da corrente é a distância linear entre os centros dos roletes, enquanto a largura é o espaço entre as placas internas de elo. A Figura 10 ilustra a nomenclatura das correntes de rolos, que podem possuir até quatro fileiras.

Figura 10 – Nomenclatura correntes de rolos



Fonte: Shigley (2008, p. 842).

“Correntes de roletes raramente falham porque careçam de resistência a tração; elas falham frequentemente porque foram submetidas a um número excessivo de horas de trabalho” (Shigley, 2008). O desgaste pode ocorrer tanto pelo uso demasiado do pino do rolete quanto por fadiga na superfície lateral do pino. As capacidades das correntes foram tabeladas por fabricantes que apresentam dados para expectativa de vida de 15 mil horas, em variadas velocidades de trabalho, conforme apresentado na Tabela 4. As capacidades indicadas estão relacionadas a rodas dentadas de 17 dentes, sendo necessário utilizar fatores de correção para ajustar a capacidade, assim como deve-se corrigir a capacidade quando o número de fileiras for maior do que 1. Esses fatores de correção são apresentados a seguir, nas Tabelas 5 e 6.

Tabela 4 – Capacidades de correntes de rolos

Velocidade da roda dentada, rev/min	Número de corrente ANSI					
	25	35	40	41	50	60
50	0,037	0,12	0,28	0,15	0,54	0,93
100	0,067	0,21	0,51	0,28	0,99	1,72
150	0,097*	0,30*	0,74*	0,42*	1,43*	2,48
200	0,12*	0,40*	0,96	0,53	1,87	3,20
300	0,17	0,58	1,38	0,75	2,69	4,63
400	0,22*	0,75*	1,80	0,98	3,50	6,00
500	0,28	0,93	2,20	1,20	4,25	7,32
600	0,33*	1,10	2,60*	1,42*	5,01*	8,65
700	0,37	1,25	2,96	1,63	5,77	9,92
800	0,42*	1,40*	3,34*	1,84*	6,5*	11,20
900	0,46	1,56	3,72	2,04	7,23	12,50
1000	0,51*	1,72*	4,1	2,25	7,98	13,65
1200	0,60	2,04	4,81	2,45	9,40	16,11
1400	0,69*	2,33*	5,53	1,95	10,74	13,50
1600	0,78*	2,63*	6,24	1,60	9,55	11,00
1800	0,86	2,93	6,68	1,33	7,98	9,25
2000	0,95*	3,22*	5,76*	1,13*	6,89*	7,90
2500	1,16	3,94	4,11*	0,82*	4,90*	5,64
3000	1,37	4,2	3,11	0,62	3,72	4,30

*Estimado das tabelas ANSI por interpolação linear.

Nota: Tipo A – lubrificação manual ou por gotejamento; Tipo B – lubrificação de disco ou por banho; Tipo C – lubrificação por corrente de óleo; Tipo C' – tipo C, mas essa é uma região de esfolamento; submeta o projeto ao fabricante para avaliação.

Fonte: adaptado de Budynas e Nisbett (2011, p. 917).

Tabela 5 – Fatores de correção para número de dentes

Número de dentes na roda dentada motora	K_1 Potência pré-extremo
11	0,62
12	0,69
13	0,75
14	0,81
15	0,87
16	0,94
17	1,00
18	1,06
19	1,13
20	1,19
N	$(N_1/17)^{1,08}$

Fonte: adaptado de Budynas e Nisbett (2011, p. 919).

Tabela 6 – Fator de correção para número de fileiras

Número de fileiras	K_2
1	1,0
2	1,7
3	2,5
4	3,3
5	3,9
6	4,6
8	6,0

Fonte: Budynas e Nisbett (2011, p. 919).

A potência admissível pela corrente H_a é determinada, portanto, pela Equação (15).

$$H_a = K_1 K_2 H_{tab} \quad (15)$$

Onde:

K_1 = fator de correção para número de dentes diferente de 17

K_2 = fator de correção para o número de fileiras

H_{tab} = valor de potência extraído da tabela de correntes

Shigley (2008) sugere que se deve corrigir também a potência calculada, como apresentado na Equação (16):

$$H_d = K_s n_d H_{nom} \quad (16)$$

Onde:

H_d = potência transmitida corrigida, em kW

K_s = fator de serviço para correntes de roletes

n_d = fator de projeto

H_{nom} = potência calculada, em kW

Conforme Tsubaki (2012), dependendo da flutuação de carga, pode ser necessário corrigir os valores da capacidade de transmissão com o fator de serviço K_s , conforme a Tabela 7.

Tabela 7 – Fator de serviço para correntes

Tipo de impacto	Fonte de alimentação Exemplos	Motor ou turbina	Motor de combustão interna	
			Com acionamento hidráulico	Sem acionamento hidráulico
Suave	Transportadores de correia com pequena flutuação de carga, transportadores de corrente, bombas centrífugas, sopradores centrífugos, máquinas têxteis usuais e máquinas usuais com pequena flutuação de carga.	1,0	1,0	1,2
Moderado	Compressores centrífugos, motores marinhos, transportadores com flutuação de carga moderada, fornos automáticos, secadores, pulverizadores, ferramentas gerais de máquinas, compressores, máquinas de construção geral, máquinas de fabricação de papel.	1,3	1,2	1,4
Pesado	Prensas, trituradores, equipamento de construção e mineração, máquinas de vibração, equipamentos de poço de petróleo, misturadores de borracha, rolos, rolo de máquinas conjuntas, máquinas em geral com cargas reversas ou de grande impacto.	1,5	1,4	1,7

Fonte: Tsubaki (2011, p. 919).

Outros dois fatores importantes para a seleção das correntes são o tamanho da corrente e a distância ideal entre centros da roda dentada. Shigley (2008) define as duas características pelas equações (17) e (18), respectivamente, nas quais o tamanho da corrente L é dado em número de passos, a distância entre centro C em medida de comprimento, N_1 é o número de dentes na roda menor e N_2 é o número de dentes da roda maior.

$$\frac{L}{p} = \frac{2C}{p} + \frac{N_1 + N_2}{2} + \frac{(N_2 - N_1)^2}{4\pi^2 C/p} \quad (17)$$

$$C = \frac{p}{4} \left[-A + \sqrt{A^2 - 8 \left(\frac{N_2 - N_1}{2\pi} \right)^2} \right] \quad (18)$$

Considerando que, pela Equação (19):

$$A = \frac{N_1 + N_2}{2} - \frac{L}{p} \quad (19)$$

Deve-se atentar para a correta lubrificação das correntes de rolos. Conforme Mott (2015) recomenda-se o uso de lubrificantes a base de petróleo e sua viscosidade deve permitir que o óleo flua entre as superfícies da corrente. A Tabela 8 apresenta os tipos de óleos adequados a cada condição de temperatura de utilização.

Tabela 8 – Lubrificantes para correntes

Temperatura ambiente		Lubrificante recomendado
°F	°C	
20 a 40	-7 a 5	SAE 20
40 a 100	5 a 38	SAE 30
100 a 120	38 a 49	SAE 40
120 a 140	49 a 60	SAE 50

Fonte: Mott (2015, p. 304).

A relação de transmissão é definida por Lamartine (2005) como a relação entre o número de rotações do eixo motor e as rotações do eixo movido. Nas engrenagens ou rodas dentadas, a relação se dará na divisão entre o número de dentes da engrenagem motora pelo número de dentes da engrenagem movida.

2.4 Roletes

Conforme Lamb (2015), os roletes ou rolos, são formados por uma carcaça metálica com eixos nas extremidades. O material da carcaça dos roletes pode variar conforme a carga movida, assim como a espessura de parede. Os roletes são utilizados, principalmente, para a movimentação de embalagens em caixas ou pacotes.

Os fabricantes de roletes costumam dividi-los por séries, favorecendo a seleção de acordo com cada aplicação. A apresentação dos roletes será baseada na fabricante Interroll. Dentre os principais tipos de roletes, destacam-se os roletes livres, acionados, de fricção e cônicos, que serão apresentados a seguir.

2.4.1 Roletes livres

Os roletes livres são utilizados em sistemas de transporte em que haja uma diferença de nível entre a entrada e a saída do produto. Conforme Interroll (2011), empresa fabricante de roletes e sistemas de transporte, os roletes livres são aplicados com ajuda da gravidade ou de velocidade inicial aplicada. Como explicado em Groover (2015), a energia provida pela gravidade deve exceder o atrito entre os roletes para que haja movimento da carga.

Roletes livres são uma excelente opção quando se deseja um sistema de transporte simples e de baixo custo, visto da sua simplicidade construtiva. A Figura 11 apresenta um rolete livre Interroll Série 1100.

Figura 11 – Rolete livre Interroll



Fonte: Interroll. Series 1100. Disponível em: <https://www.interroll.com.br/produtos/conveyor-rollers/rollers/gravity-conveyor-roller-series-1100>.

2.4.2 Roletes acionados

Diferentemente dos roletes livres, os roletes acionados não dependem de gravidade ou força inicial para transmitirem movimentos. Estes possuem uma ou duas rodas dentadas em uma das extremidades. Conforme a Interroll (2011), os roletes acionados são utilizados em sistema de transporte e máquinas em geral. O produto é disponibilizado em diversas configurações de dentes, conforme a aplicação. A Figura 12 apresenta um rolete acionado Interroll Série 3500 com seus modos de acionamento. Destaca-se que os roletes podem ser movidos por corrente de elos ou correias e possuir geometria cilíndrica ou cônica.

Figura 12 – Rolete acionado Interroll



Fonte: Interroll. Series 3500. Disponível em: <https://www.interroll.com.br/produtos/conveyor-rollers/rollers/fixed-drive-conveyor-roller-series-3500>.

Os roletes que serão utilizados para o desenvolvimento destes trabalhos serão da série 3500, 3600 e 3950. As características dos roletes dessas séries estão apresentadas nas tabelas 9, 10 e 11, respectivamente.

Tabela 9 – Características dos roletes da série 3500

Dados técnicos gerais	
Máx. capacidade de carga	2000 N
Máx. velocidade de transporte	2 m/s (com acionamento de corrente 0,5 m/s)
Faixa de temperatura	-5 a +40 °C
Materiais	
Alojamento	Poliamida
Cabeçote de acionamento	Poliamida / Aço
Vedação	Polipropileno
Rolamento de esferas	Aço 6002 2RZ

Fonte: Interroll (2011).

Tabela 10 – Características dos roletes da série 3600

Dados técnicos gerais	
Máx. capacidade de carga	3500 N
Máx. velocidade de transporte	0,50 m/s
Faixa de temperatura	0 a +40 °C
Materiais	
Alojamento	Poliamida
Cabeçote de acionamento	Poliamida
Vedação	Poliamida
Rolamento de esferas	Aço 6204 2RZ, 6205 2RZ

Fonte: Interroll (2011).

Tabela 11 – Características dos roletes da série 3950

Dados técnicos gerais	
Máx. capacidade de carga	5000 N
Máx. velocidade de transporte	0,5 m/s
Faixa de temperatura	0 a +40 °C
Materiais	
Alojamento	Poliamida
Cabeçote de acionamento	Aço
Vedação	Poliamida
Rolamento de esferas	Aço 6205 2RZ

Fonte: Interroll (2011).

2.4.3 Roletes de fricção

Os roletes de fricção possuem aplicação em sistemas em que exista movimentação e acúmulo de materiais. Conforme Interroll (2011), quando os materiais transportados são impedidos de se movimentar por um sistema mecânico e os roletes continuam a girar, o aumento de pressão pode causar esmagamento da embalagem ou danos ao produto. Nos roletes de fricção, portanto, a força aplicada sobre o rolete deve ser maior que a força de fricção exercida pelo acoplamento do rolete ao seu eixo para que haja movimento da carga. A Figura 13 apresenta o rolete de fricção Interroll Série 3800.

Figura 13 – Roletes de fricção Interroll



Fonte: Interroll. Series 3800. Disponível em: <https://www.interroll.com.br/produtos/conveyor-rollers/rollers/friction-conveyor-roller-series-3800>.

2.4.4 Roletes cônicos

Conforme Interroll (2011), os roletes cônicos são utilizados para o transporte de caixas, pacotes e itens de massa moderada em seções curvas. Existem roletes cônicos livres ou acionados, que podem ser utilizados conforme a aplicação desejada.

O princípio de funcionamento dos roletes cônicos compreende o aumento da velocidade tangencial do rolete à medida que seu diâmetro aumenta. Como há diferença de velocidades ao longo do item a ser transportado, o giro em torno de seu próprio eixo acontece, juntamente com seu movimento de translação ao longo da esteira, sendo que o raio da curva depende do comprimento do rolete, da sua variação de diâmetro e do espaçamento entre roletes.

2.4.5 Critérios para seleção de roletes

Para a seleção dos roletes de uma esteira, deve-se atentar a dois fatores, que serão apresentados a seguir, conforme especificado pela Seção de Planejamento da Interroll. O primeiro fator é a geometria da esteira. Caso deseje-se mover o produto em linha reta, os roletes cilíndricos são os mais recomendados. Em caso de curvas, os roletes cônicos devem ser utilizados. O segundo fator de seleção de roletes é o método de transmissão de potência. A seleção da geometria do rolete deverá seguir o método selecionado para transmitir a energia na esteira.

Os fabricantes de roletes oferecem diversas formas de fixação do rolete à estrutura da esteira. Cada modo de fixação possui características específicas que variam conforme o método construtivo do rolete. O método de fixação altera a resistência do rolete, que é próximo fator de análise na seleção dos roletes.

A Interroll fornece, para cada linha de roletes, diversas opções de materiais para o corpo do rolete. Conforme seu catálogo de roletes, a Interroll (2011) informa que a sua capacidade de carga depende da capacidade individual do tubo, do eixo e do rolamento. A combinação dos três fatores resulta na tabela de carga máxima, em Newtons, admitida por milímetro de comprimento de instalação do rolete, como apresentado na Tabela 12, que é fornecida pela Interroll.

Tabela 12 – Capacidades de roletes série 3500

Tube material	Ø Tube / thickness [mm]	Ø Shaft [mm]	Maximum static load [N] for installation length [mm]							
			200	300	400	600	800	1000	1300	1600
PVC	50 x 2.8	8, 10, 12, 14	660	275	150	65	35	-	-	-
	63 x 3.0	12, 14	1445	605	330	145	80	50	30	20
Steel	40 x 1.5	8, 10, 11 HEX, 12, 14	800	800	800	800	800	560	330	215
		8	915	885	870	860	855	850	660	430
		10	1790	1730	1700	1680	1665	1120	660	430
	50 x 3	11 HEX, 12, 14	2000	2000	2000	2000	1765	1120	660	430
		10	1790	1790	1700	1680	1665	1650	1200	790
	51 x 2	12, 14	2000	2000	2000	2000	2000	2000	1200	790
		12, 14	2000	2000	2000	2000	1875	1190	700	460
Steel	60 x 1.5	10	1790	1730	1705	1680	1665	1660	1155	760
		12, 14	2000	2000	2000	2000	2000	1965	1155	760
	60 x 2.0	12, 14	2000	2000	2000	2000	2000	2000	1500	985
	60 x 3.0	12, 14	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	1405
	80 x 2.0	11 HEX, 12, 14	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000
Aluminum	50 x 1.5	12, 14	2000	2000	2000	1060	590	375	219	145

Fonte: Interroll. Series 3500. Disponível em: <https://www.interroll.com.br/produtos/conveyor-rollers/rollers/fixed-drive-conveyor-roller-series-3500>.

A Interroll (2011) sugere que cada item transportado seja sustentado por, no mínimo, três roletes, como mostrado na Figura 14. A distância entre os roletes é determinada então pela Equação (20).

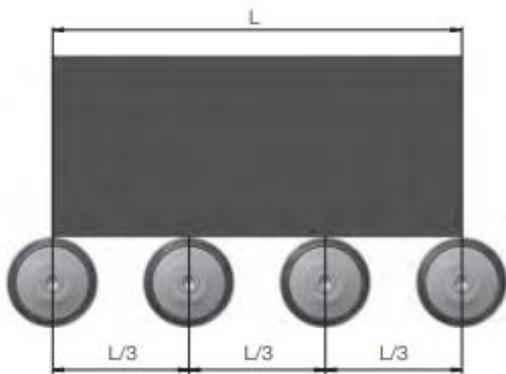
$$p_{rol} = \frac{l}{3} \quad (20)$$

Onde:

p_{rol} = passo do rolete, em mm.

l = comprimento do item transportado, em mm.

Figura 14 – Distribuição de peso dos roletes



Fonte: Interroll, (2011, p. 220).

Para transporte de paletes, a Interroll (2011) afirma que, devido à geometria do palete, deve-se considerar que o número de roletes portantes limita-se a, no máximo, quatro. A carga aplicada em cada rolete é representada pela Equação (21).

$$C_{rol} = \frac{m \cdot g}{n} \quad (21)$$

Onde:

C = Carga aplicada sobre o rolete, em N.

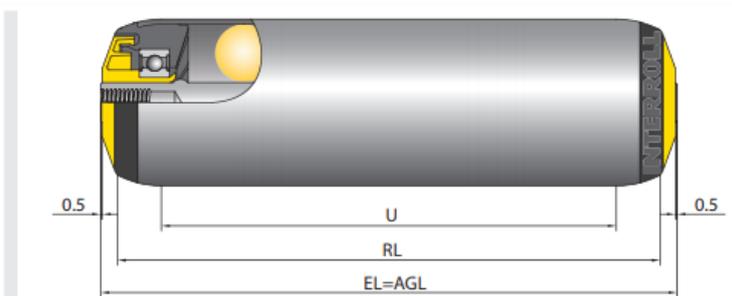
m = massa do produto, em Kg.

g = aceleração da gravidade, em m/s^2 .

n = número de roletes em que a carga está apoiada.

Após a seleção dos aspectos de carga, método de fixação, forma de acionamento e geometria do tubo, deve-se buscar as características dimensionais do rolete escolhido. A Figura 15 apresenta uma tabela de dimensões de roletes, fornecida pela Interroll, em função do diâmetro e espessura de parede do tubo, onde EL representa o comprimento de instalação, AGL representa o comprimento do eixo e U é o comprimento útil do rolete. É importante ressaltar que cada série de rolete, com determinada característica, possui medidas específicas.

Figura 15 – Aspectos dimensionais dos roletes série 1100.



Ø Tube [mm]	Tube material	Ø Shaft [mm]	EL [mm]	AGL [mm]	U [mm]
50 x 2.8	PVC	8, 10, 12, 14	RL + 10	RL + 10	RL - 12
63 x 3.0	PVC	12, 14	RL + 10	RL + 10	RL - 12
40 x 1.5	Steel	8, 10, 11 HEX, 12, 14	RL + 10	RL + 10	RL - 26
50 x 1.5	Aluminum/Steel	8, 10, 11 HEX, 12, 14	RL + 10	RL + 10	RL - 26
50 x 3	Steel	10, 12, 14	RL + 10	RL + 10	RL - 12
51 x 2	Steel	12, 14	RL + 10	RL + 10	RL - 28
60 x 1.5	Steel	10, 12, 14	RL + 10	RL + 10	RL - 26
60 x 2.0; 60 x 3.0	Steel	12, 14	RL + 10	RL + 10	RL - 26
80 x 2.0	Steel	11 HEX, 12, 14	RL + 10	RL + 10	RL - 26

Fonte: Interroll. Series 1100. Disponível em: <https://www.interroll.com.br/produtos/conveyor-rollers/rollers/gravity-conveyor-roller-series-1100/>.

2.5 Aços de baixo teor carbono

Segundo Callister (2013), os aços de maior quantidade produzida se enquadram na classificação de baixo teor de carbono, que contém menos que 0,25% de carbono em sua composição. A principal característica desses aços é a alta ductilidade, além disso, eles são usináveis, soldáveis e de fácil produção.

A Tabela 13 apresenta a composição química dos principais aços de baixo carbono, enquanto a Tabela 14 apresenta as propriedades mecânicas de alguns aços.

Tabela 13 – Composição química dos aços

<i>Liga (Designação UNS)</i>	<i>Composição (%p)</i>
AÇOS-CARBONO E AÇOS DE BAIXA LIGA	
A36 (ASTM A36)	98,0 Fe (mín). 0,29 C. 1,0 Mn. 0,28 Si
1020 (G10200)	99,1 Fe (mín). 0,20 C. 0,45 Mn
1040 (G10400)	98,6 Fe (mín). 0,40 C. 0,75 Mn
4140 (G41400)	96,8 Fe (mín). 0,40 C. 0,90 Cr. 0,20 Mo. 0,9 Mn
4340 (G43400)	95,2 Fe (mín). 0,40 C. 1,8 Ni. 0,80 Cr. 0,25 Mo. 0,7 Mn

Fonte: adaptado de Callister (2013, p. 780).

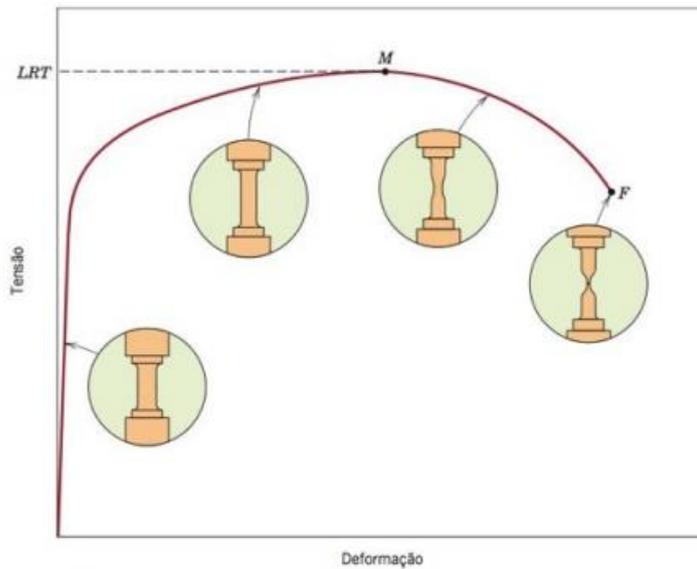
Tabela 14 – Propriedades mecânicas de aços

<i>Liga Metálica</i>	<i>Limite de Escoamento, MPa (ksi)</i>	<i>Limite de Resistência à Tração, MPa (ksi)</i>	<i>Ductilidade, %AL [em 50 mm (2 in)]</i>
Alumínio	35 (5)	90 (13)	40
Cobre	69 (10)	200 (29)	45
Latão (70 Cu-30 Zn)	75 (11)	300 (44)	68
Ferro	130 (19)	262 (38)	45
Níquel	138 (20)	480 (70)	40
Aço (1020)	180 (26)	380 (55)	25
Titânio	450 (65)	520 (75)	25
Molibdênio	565 (82)	655 (95)	35

Fonte: Callister (2013, p. 144).

O aço comumente utilizado na estrutura de esteiras de rolete é o aço da série SAE 1020. Ele apresenta, quando laminado a quente, um limite de resistência à tração (LRT) de 380 MPa, que conforme Callister (2013), é a tensão no ponto máximo da curva tensão-deformação de engenharia e se aplicada e mantida, irá levar o material à fratura. O limite de resistência à tração está representado pela Figura 16.

Figura 16 – Limite de resistência à tração



Fonte: Callister (2013, p.88).

O limite de escoamento é referenciado por Callister (2013), como sendo a tensão necessária para dar início ao processo de escoamento, em que a deformação plástica tem seu início. Ao atingir a deformação plástica, um corpo não recupera sua forma original e a tensão não é mais proporcional à deformação do corpo. Tal situação não é desejada em projetos mecânicos, uma vez que os fatores dimensionais são essenciais nesses componentes.

“A teoria da tensão máxima de cisalhamento afirma que a falha ocorre quando a tensão máxima de cisalhamento em uma região excede a tensão máxima de cisalhamento de um corpo de prova...” (NORTON, 2013 p. 252). Portanto, a Equação (22) pressupõe que a tensão de cisalhamento no escoamento para um material dúctil é:

$$S_{ys} = 0,50 S_y \quad (22)$$

Onde:

S_{ys} = Limite de escoamento no cisalhamento puro

S_y = Limite de escoamento na tração

Outro fator apresentado na Tabela 14 é a ductilidade, que conforme Norton (2013), é medida pela porcentagem do alongamento de um material até a ruptura, ou pela porcentagem de redução da área de ruptura. Por apresentar um valor de Alongamento Percentual (AL%) elevado, o SAE 1020 é considerado um material dúctil, visto que os materiais frágeis são, conforme Callister (2013), aqueles que apresentam deformação de fratura inferior a aproximadamente 5%.

2.6 Tensões

Segundo Hibbeler (2004), a força e o momento que atuam em algum ponto na área da seção de um corpo representam os efeitos da distribuição da força que atua na área selecionada.

2.6.1 Tensão normal

A força por unidade de área que atua no sentido perpendicular à seção transversal de um elemento é conhecida como Tensão Normal, representada pela letra grega σ (sigma) conforme Hibbeler (2004). Considerando uma ΔF normal a área, a Tensão Normal é definida pela Equação (23).

$$\sigma = \lim \frac{\Delta F}{\Delta A} \quad (23)$$

Quando a força normal empurra o elemento de área, a tensão é denominada trativa, e quando ΔA é puxado, ocorre a tensão compressiva.

“Um material homogêneo possui as mesmas propriedades físicas e mecânicas em todo o seu volume, e um material isotrópico possui essas mesmas propriedades em todas as direções”, conforme apresentado por Hibbeler (2004, p. 17). Partindo-se desse princípio, o aço pode ser considerado como homogêneo e isotrópico, e, portanto, sua deformação é resultante de uma tensão normal constante. Considerando que a cada elemento de área da seção aplica-se uma determinada força, o somatório das forças que atuam sobre a área da seção transversal deve

ser equivalente à força interna resultante nesta seção, conforme a Equação (24), que representa a Tensão Normal Média.

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (24)$$

Onde:

σ = tensão normal média em qualquer ponto da área da seção transversal, em MPa.

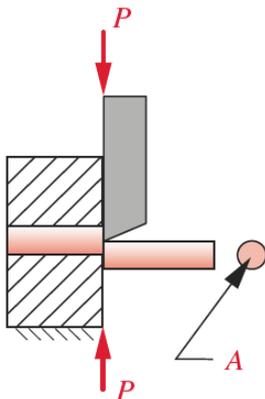
P = carga aplicada sobre a seção transversal, em N.

A = área da seção transversal da barra, em mm².

2.6.2 Tensão cisalhante

Diferentemente da tensão normal, a tensão cisalhante refere-se à força que atua de forma tangente a área da seção transversal, conforme Norton (2013). O cisalhamento puro está intimamente ligado ao corte de materiais, conforme mostra a Figura 17.

Figura 17 – Tensão de cisalhamento



Fonte: Norton (2013, p. 153).

Conforme Norton (2013), a tensão cisalhante média é definida pela Equação (25):

$$\tau = \frac{V}{A_{ESM}} \quad (25)$$

Onde:

τ = tensão de cisalhamento médio na seção, em MPa.

V = componente resultante da força de cisalhamento na seção, em N.

A_{ESM} = área para o cálculo da tensão de cisalhamento, em mm².

Segundo Norton (2013), no caso de utilização de pino e furo, as superfícies em contato estão sujeitas também a tensões de esmagamento, que podem esmagar o furo ou o pino em vez de cortá-los. Essa tensão pode ser calculada pela Equação (26), porém existe variação na área considerada para o cálculo. A Equação (26) apresenta o cálculo da área quando o pino fica justo no furo, enquanto a Equação (27) apresenta o cálculo para casos onde há folga entre os dois componentes.

$$A_{ESM} = l_c d \quad (26)$$

$$A_{ESM} = \left(\frac{\pi}{4}\right) l_c d \quad (27)$$

Onde:

l_c = comprimento de contato em compressão, em mm.

d = diâmetro do pino, em mm.

2.6.3 Fator de segurança

Conforme Hibbeler (2004), para garantir a segurança de um elemento, deve-se escolher uma tensão admissível que restrinja a carga aplicada com valor menor que a carga que o elemento possa realmente suportar, pois pode haver desgastes, considerações inadequadas de projeto, erros de fabricação e montagem, entre outros fatores não considerados no projeto

inicial. Nesse aspecto, surge o Fator de Segurança, que é representado pela Equação (28) e aplica-se tanto para cargas normais quanto para cargas cisalhantes.

Onde:

$$FS = \frac{F_{RUP}}{F_{ADM}} \quad (28)$$

FS = Fator de segurança, selecionado empiricamente.

F_{RUP} = Carga de ruptura, obtida em testes experimentais do material.

F_{ADM} = Carga admissível.

3 METODOLOGIA

O capítulo a seguir apresenta a metodologia que será utilizada neste trabalho.

3.1 Classificação da pesquisa

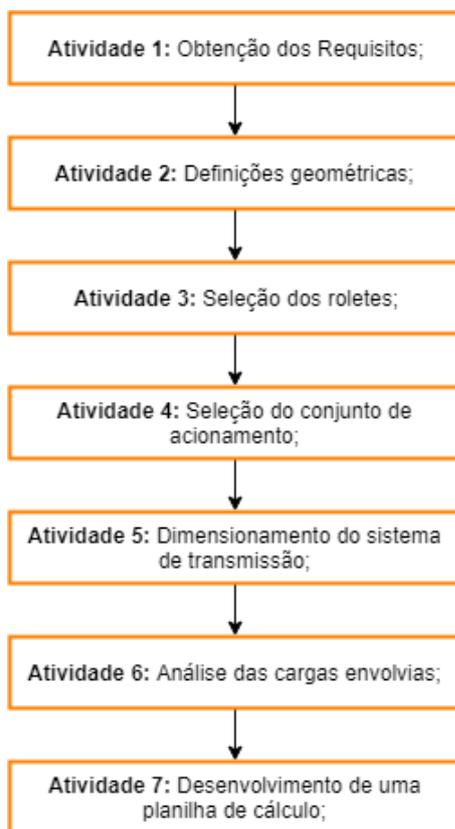
Este trabalho é, do ponto de vista de sua natureza, uma pesquisa aplicada, definida por Prodanov (2013) como uma fonte de conhecimento para aplicações práticas que visam a solução de problemas específicos. Quanto aos seus objetivos, o trabalho apresenta caráter exploratório, que “tem como objetivo proporcionar maior familiaridade com o problema, com vistas a torná-lo mais explícito...” (GIL, 1996). Conforme Prodanov (2013), a pesquisa exploratória tem como principal finalidade agregar informações sobre o assunto a ser investigado, possibilitando definição e delineamento do tema.

Em relação aos procedimentos técnicos utilizados, a pesquisa se classifica como estudo de caso, visto que este “é caracterizado pelo estudo profundo e exaustivo de um ou poucos objetos, de maneira que permita o seu amplo e detalhado conhecimento...” (GIL, 1996). O trabalho apresenta, também, as características de Pesquisa Bibliográfica, que, conforme Prodanov (2013), objetiva situar o pesquisador sobre o material elaborado até o momento sobre o assunto pesquisado. O pesquisador deve, na pesquisa bibliográfica, verificar a confiabilidade e veracidade dos materiais consultados, evitando incoerências ou contradições.

3.2 Procedimento metodológico

O procedimento de dimensionamento de uma esteira de roletes acionados seguirá a sequência de atividades descrita no fluxograma abaixo. As atividades estão explicadas, individualmente, nos parágrafos a seguir.

Fluxograma 1 – Sequência de atividades



Fonte: o autor (2019).

A Atividade 1 consiste em coletar os dados de entrada da esteira, que são requisitos de aplicação. Esses dados são comumente fornecidos pelo cliente ou extraídos do processo produtivo da aplicação da esteira. Os principais dados necessários estão listados abaixo:

- Comprimento total a ser vencido;

- b) Dimensões e massa do material transportado;
- c) Velocidade da esteira; e
- d) Altura prevista para a esteira.

A Atividade 2 consiste na definição das características geométricas do módulo da esteira, como comprimento, altura e largura do módulo. Essa definição influencia o dimensionamento do acionamento e seleção dos roletes e por isso deve ser realizada com muita atenção.

A Atividade 3 refere-se à seleção dos roletes acionados para o sistema transportador. Essa seleção deve ser realizada utilizando-se a seção “Critérios para seleção de roletes” que apresenta as equações e conceitos necessários para tal seleção.

O conjunto de acionamento é selecionado e estudado na Atividade 4. Os conceitos para executar a tarefa estão descritos na seção “Motorredutor”. As Equações (2) e (3) devem ser utilizadas para o correto dimensionamento e seleção. Os sistemas de acionamento serão selecionados em uma tabela de fornecedor.

A Atividade 5 refere-se ao sistema de transmissão de potência, que será baseado no rolete selecionado, uma vez que os roletes acionados possuem uma roda dentada determinada em sua seleção. O dimensionamento do sistema de transmissão analisará então a velocidade da corrente, a relação de transmissão, o comprimento da corrente e a análise da carga admitida por ela. Essa sequência de cálculo será realizada utilizando o intervalo de Equações (4) a (12).

A Atividade 6 analisa as cargas estáticas envolvidas na estrutura da esteira. A análise será realizada simplificando as situações para que se utilize as Equações (14) a (19), que determinam as tensões admissíveis do material da estrutura. O principal objetivo dessa atividade é validar a espessura dos apoios que suportam a carga do sistema, uma vez que o cálculo correto pode diminuir os custos de produção do item.

A Atividade 7 consiste na organização e desenvolvimento de uma planilha de cálculo para determinar os resultados dos processos realizados acima. Essa planilha será desenvolvida na ferramenta Microsoft Excel e terá a finalidade principal de simular diversas situações de aplicação das esteiras de rolete, servindo como base para seu dimensionamento.

4 DESENVOLVIMENTO

Neste capítulo, apresenta-se o desenvolvimento das etapas de dimensionamento e construção da planilha de cálculo para dimensionamento de uma esteira de roletes, conforme as etapas do Capítulo 3. A planilha de cálculo construída será apresentada conforme o assunto dos subcapítulos.

Serão utilizados dados de um caso de aplicação de uma esteira de roletes em uma linha de robótica, simulando o dimensionamento e realizando as equações que serão base para validar a correta construção da planilha de cálculo desenvolvida.

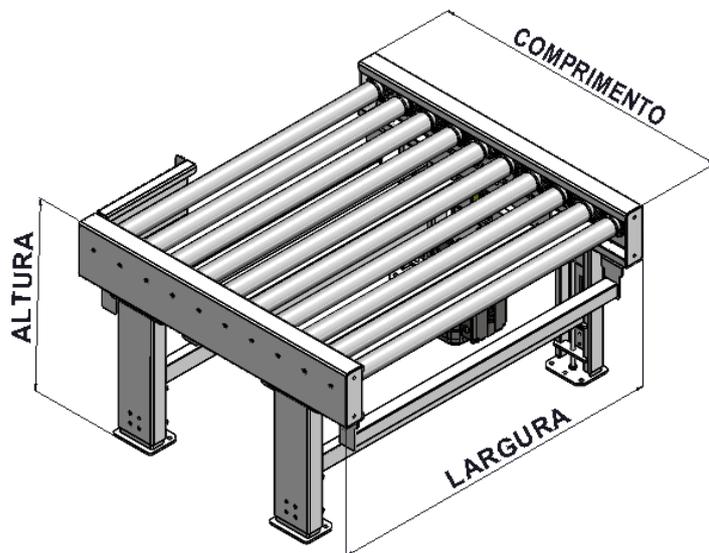
4.1 Obtenção dos requisitos

Visando obter os dados de entrada para o dimensionamento de uma esteira de roletes acionados, verificaram-se as equações necessárias para o dimensionamento do equipamento. Os dados obtidos foram divididos em grupos, sendo eles: requisitos geométricos; informações do produto transportado; requisitos dinâmicos, que representam a velocidade e aceleração da esteira; requisitos de serviço; sistema de transmissão de potência; perfil de sustentação da esteira. Foi apresentado, também, um critério de seleção para o rolete de transporte, para dar maior controle ao projetista.

Os requisitos geométricos representam as dimensões do módulo da esteira. O comprimento do módulo será utilizado para definir a quantidade de roletes necessários e

representa a distância percorrida pelo objeto transportado, medido paralelamente ao sentido do seu deslocamento. A largura da esteira, nesse caso, é a medida obtida entre as extremidades dos perfis laterais que sustentam os roletes. Tal valor será utilizado na seleção dos roletes de transporte, bem como nas equações de potência. A altura da esteira é utilizada nesse trabalho para orientação do projetista em etapas futuras do projeto da esteira dimensionada, como o modelamento 3D. A Figura 18 apresenta a referência para tomada de medidas para obtenção dos requisitos geométricos.

Figura 18 – Geometria da esteira



Fonte: o autor (2019).

Para o presente dimensionamento, os dados de comprimento, largura e altura da esteira são apresentados na Tabela 15.

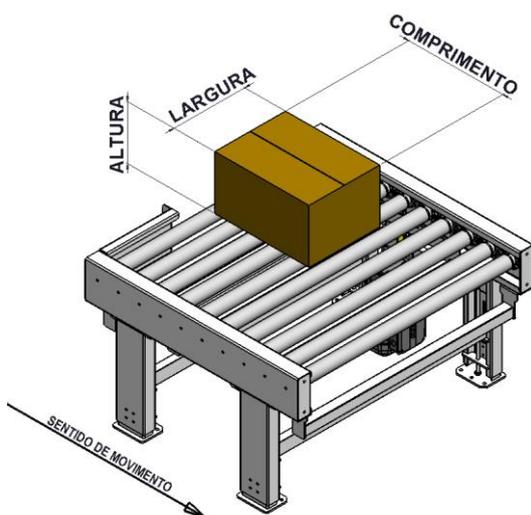
Tabela 15 – Dados geométricos da esteira

DADOS GEOMÉTRICOS DA ESTEIRA		
Comprimento	2110	milímetros
Largura da esteira	635	milímetros
Altura	600	milímetros

Fonte: o autor (2019).

As informações necessárias sobre o produto transportado são comprimento, largura e altura, bem como a forma geométrica, a massa total do item e o material em contato com o rolete. Ressalta-se que o comprimento do objeto se refere à medida paralela ao sentido de movimentação do volume, como evidenciado na Figura 19. A assertividade dessa medida é fundamental para seleção dos roletes, uma vez que o passo do rolete obedece a Equação (21) e os conceitos apresentados na seção 2.4.5. A massa do produto transportado é utilizada para os cálculos de potência, seleção dos roletes e tensões nos apoios e deverá ser apresentada em quilogramas, enquanto que o material que entra em contato com o rolete é base para os dados do braço de alavanca do atrito rolante. Dentre as formas geométricas possíveis estão o prisma retangular, circular e o palete.

Figura 19 – Geometria do produto



Fonte: o autor (2019).

Os dados do produto transportado para o caso dimensionado neste estudo estão apresentados na Tabela 16.

Tabela 16 – Dados do produto transportado

COMO É O PRODUTO TRANSPORTADO?		
Forma geométrica	RETANGULAR	
Comprimento	330	milímetros
Largura	255	milímetros
Altura	285	milímetros
Massa	13	quilogramas
Material do produto transportado	PAPELÃO	

Fonte: o autor (2019).

Os requisitos dinâmicos envolvem a velocidade máxima do produto sobre a esteira ou o tempo mínimo para que a distância desde a entrada do módulo até o seu final seja vencida pelo produto transportado. A velocidade será essencial para a definição da potência do acionamento. Conforme a Interroll (2011), não são recomendadas velocidades acima de 0,5 m/s para roletes acionados por correntes.

Outro dado necessário é o tempo de aceleração da carga, partindo do repouso até a velocidade máxima, fornecida em segundos. Os fatores dinâmicos que serão utilizados no dimensionamento estão apresentados na Tabela 17.

Tabela 17 – Requisitos dinâmicos da esteira

INFORME A VELOCIDADE DA ESTEIRA	0,4	m/s
TEMPO DE ACELERAÇÃO DA CARGA	0,8	segundos

Fonte: o autor (2019).

Para a determinação do fator de serviço do conjunto de acionamento, são necessárias duas informações sobre o tipo de trabalho da esteira. Primeiramente, busca-se descobrir quantas horas diárias de serviço serão realizadas, possibilitando as opções de 8, 16 e 24 horas para facilitar a seleção do correto fator de serviço. A segunda informação acerca do serviço é o número de partidas por hora que o conjunto de acionamento realiza. As informações para o corrente desenvolvimento estão na Tabela 18.

Tabela 18 – Fatores de serviço da esteira

POR QUANTO TEMPO A ESTEIRA FUNCIONARÁ DIARIAMENTE?	8	horas por dia
QUANTAS PARTIDAS SERÃO DADAS POR HORA	200	partidas por hora

Fonte: o autor (2019).

O sistema de transmissão de potência é abordado nos requisitos de entrada para o dimensionamento para definição do elemento de transmissão do rolete, que pode ser rodas dentadas de aço ou poliméricas. Essa característica é fundamental para a determinação da carga suportada pelo rolete acionado. Abaixo, a Tabela 19 mostra os dados selecionados para o dimensionamento realizado.

Tabela 19 – Requisitos do sistema de transmissão

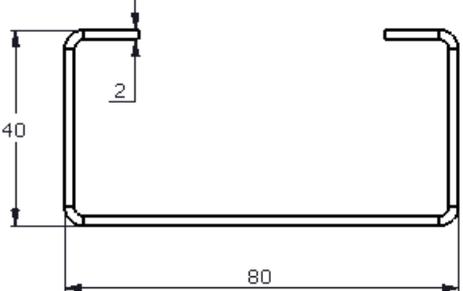
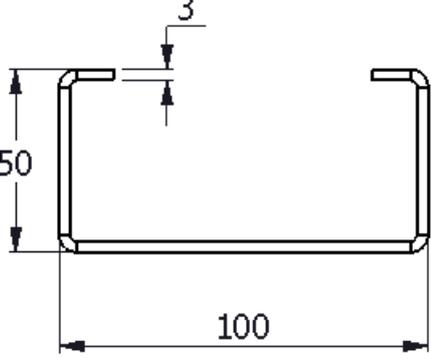
DEFINA O SISTEMA DE TRANSMISSÃO	
Elemento de Transmissão	RODA DENTADA DE AÇO
Tipo de Transmissão entre Roletes	LIGAÇÃO ENTRE ROLETES

Fonte: o autor (2019).

Para possibilitar que o projetista tenha controle sobre o resultado mostrado pela ferramenta de dimensionamento, desenvolveu-se o critério de seleção do rolete, que pode ser selecionado utilizando o maior diâmetro entre os roletes possíveis ou o menor diâmetro, a ser escolhido pelo projetista. No dimensionamento realizado, definiu-se que o menor diâmetro de rolete deverá ser selecionado.

Foram definidos também dois perfis de apoio para a esteira, a fim de suportar as cargas exercidas pelos componentes e materiais transportados. As geometrias dos apoios possíveis são apresentadas na Tabela 20, considerando que a opção de não existência de apoios também é considerada. Cada configuração de apoio representa uma tensão admissível para a sustentação da esteira.

Tabela 20 – Configurações de bases da esteira

Geometria	Imagem	Área da seção transversal (mm ²)
80X40X2		354,15
100X50X3		630,82

Fonte: o autor (2019).

Definiu-se que o apoio de configuração 80 X 40 X 2 será utilizado para o dimensionamento da esteira.

4.2 Cálculos

Para o dimensionamento da esteira de roletes acionados, foram realizados os cálculos conforme os itens abaixo, divididos em categorias considerando os dados de entrada disponibilizados e utilizado a sequência de cálculo conforme a necessidade das equações.

4.2.1 Seleção dos roletes

Seguindo os itens relacionados na seção 2.4.5, utilizando a delimitação do trabalho e os dados de entrada obtidos na seção anterior, verifica-se que foram obtidos todos os dados para a seleção dos roletes, que será selecionado conforme a fornecedora mundial Interroll.

A esteira compreende uma seção reta, sem inclinação ou curvas, acionado por corrente de rolos, com fixação lateral por parafusos, com a carcaça do rolete em aço, considerando a Série 3500 para produtos da linha leve e as Séries 3600 e 3950 para transporte de produtos pesados. A definição de produtos leves e pesados é realizado através do dado de entrada de tipo de produto transportado. Considera-se transporte da linha pesada os paletes, que possuem carga superior a uma embalagem retangular ou circular. O banco de dados formado pelos roletes conforme a delimitação é apresentado na Tabela 21.

Tabela 21 – Banco de dados de roletes

Roletes de aço - 2 Rodas dentadas														
Diâmetro	Elemento de transm.	Passo da roda dentada	Número de dentes	Diâmetro eixo	200	400	600	800	1000	1200	1400	1600	Série	Linha
40	Roda dentada polimérica	12.7	14	12	800	770	685	665	640	630	620	0	3500	Leve
50	Roda dentada polimérica	12.7	14	12	935	770	685	665	640	630	620	0	3500	Leve
50	Roda dentada de aço	12.7	14	14	2000	2000	2000	1760	1120	775	565	0	3500	Leve
60	Roda dentada polimérica	12.7	14	12	935	770	685	655	640	630	620	0	3500	Leve
60	Roda dentada de aço	12.7	14	14	2000	2000	2000	2000	1960	1355	990	0	3500	Leve
80	Roda dentada polimérica	15.88	18	20	3500	3500	3150	3000	2930	2880	2850	2820	3600	Pesada
89	Roda dentada polimérica	15.88	18	20	3500	3500	3150	3000	2930	2880	2850	2820	3600	Pesada
80	Roda dentada de aço	15.88	18	20	5000	5000	5000	5000	5000	5000	4740	3600	3950	Pesada
89	Roda dentada de aço	15.88	18	20	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000	3950	Pesada

Fonte: o autor (2019).

A Equação (22), apresentada na seção 2.4.5, determina a carga sofrida pelo rolete conforme o peso do volume transportado. Conforme a largura da esteira informada nos dados de entrada, pode-se selecionar os roletes do banco de dados apresentado acima. A diferença entre linha leve e pesada, juntamente com o critério de seleção do rolete determinam o exato rolete a ser utilizado nessa esteira. Além do diâmetro, o passo e número de dentes da roda dentada e o diâmetro do eixo serão utilizados nas próximas etapas.

Para os dados de entrada apresentados nas seções anteriores, a carga sobre o rolete é obtida pela Equação (21), cujo resultado é apresentado na Equação (29).

$$C_{rol} = 42,51 N \quad (29)$$

Considerando-se a largura da esteira de 635 milímetros, seleciona-se o primeiro comprimento acima disponível no catálogo de roletes para seleção do rolete, 800 milímetros. Por se tratar de um produto de geometria retangular com massa de valor relativamente pequeno, serão utilizados roletes da linha leve. Após o primeiro filtro, são obtidos os roletes conforme Tabela 22.

Tabela 22 – Roletes selecionados na etapa 1

Diâmetro	Elemento de transm.	Passo da roda dentada	Número de dentes	Diâmetro eixo	200	400	600	800	1000	1200	1400	1600	Série	Linha
50	Roda dentada de aço	12.7	14	14	2000	2000	2000	1760	1120	775	565	0	3500	Leve
60	Roda dentada de aço	12.7	14	14	2000	2000	2000	2000	1960	1355	990	0	3500	Leve

Fonte: o autor (2019).

O segundo filtro aplicado analisa o banco de dados conforme o critério de seleção do rolete, definido anteriormente como o de menor diâmetro. Seleciona-se, portanto, o rolete com diâmetro de 50 milímetros, conforme Tabela 23.

Tabela 23 – Rolete selecionado após etapa 2

Diâmetro	Elemento de transm.	Passo da roda dentada	Número de dentes	Diâmetro eixo	800	Série	Linha
50	Roda dentada de aço	12.7	14	14	1760	3500	Leve

Fonte: o autor (2019).

O passo do rolete é definido conforme a Equação (20). O valor do passo será recalculado posteriormente, de acordo com o passo da corrente de transmissão. Para a situação atual, o passo do rolete é determinado abaixo.

$$p_{rol} = \frac{l}{3} = \frac{330}{3} = 110 \text{ mm} \quad (30)$$

A quantidade de roletes utilizados na esteira é determinada pela Equação (31). Como a quantidade de roletes deve ser unitária, o valor será arredondado para o primeiro número inteiro inferior ao valor calculado.

$$Q_{rol} = \frac{L}{p_{rol}} = 19 \quad (31)$$

4.2.2 Dimensionamento do acionamento

Conforme apresentado na Equação (21), a potência necessária para mover produtos em uma esteira de roletes acionados é a união da potência estática e dinâmica. Essas duas potências serão determinadas nas seções a seguir.

4.2.2.1 Potência estática

A potência estática depende, primeiramente, da resistência à translação, definida pela Equação (3), e o dimensionamento realizado será considerado a condição em que a esteira está totalmente preenchida com produtos. Para a determinação da massa total, m , sobre a esteira, será utilizada a Equação (32), apresentada abaixo. É importante ressaltar que, admite-se como condição da entrada o produto para o cálculo, que todas as caixas estejam perfeitamente alinhadas, e o comprimento da caixa deve ser o valor da aresta paralela ao sentido de movimento, conforme apresentado na Figura 19.

$$m = m_{PROD} \left(\frac{L}{l} \right) = 13 \left(\frac{2110}{330} \right) = 83,1 \text{ kg} \quad (32)$$

Onde:

m_{PROD} = massa do produto transportado, em kg;

L = comprimento da esteira, em mm

l = comprimento do produto, em mm

Conforme apresentado nas tabelas 9, 10 e 11, o rolamento dos roletes para a Série 3500 é o 6002 2RZ, enquanto as séries 3600 e 3950 utilizam o rolamento 6205 2RZ. Conforme a NSK (2013), os rolamentos da série 6002 apresentam diâmetro externo de 32 milímetros,

enquanto que os rolamentos 6205 possuem diâmetro externo de 52 milímetros. O diâmetro externo do rolamento será considerado na resistência a translação, visto que não é disponibilizado o diâmetro do mancal do rolete.

A SEW-Eurodrive (2007) expõe que os coeficientes de atrito para mancais μ_L apresentados na Tabela 24. Conforme apresentado acima, os roletes utilizam mancais de rolamento no movimento de rotação.

Tabela 24 – Coeficientes de atrito para mancais

Mancal	Coeficiente de atrito
rolamento	$\mu_L = 0,005$
bucha	$\mu_L = 0,08 - 0,1$

Fonte: SEW-Eurodrive (2007).

O braço de alavanca do atrito rolante, f , é selecionado, conforme a SEW-Eurodrive (2007) com base na Tabela 25.

Tabela 25 – Braço de alavanca do atrito rolante

Superfícies de contato		Braço de alavanca	
Aço contra aço		$f \approx 0,5$ mm	
Madeira contra aço (transportador de rolos)		$f \approx 1,2$ mm	
Material sintético contra aço		$f \approx 2$ mm	
Borracha dura contra aço		$f \approx 7$ mm	
Material sintético contra concreto		$f \approx 5$ mm	
Borracha dura contra concreto		$f \approx 10 - 20$ mm	
Borracha semi-dura contra concreto		$f \approx 15 - 35$ mm	
Vulkollan® sobre aço	Ø 100 mm	$f \approx 0,75$ mm	Atenção: O atrito do braço de alavanca é em função direta do fabricante, da geometria e da temperatura.
	Ø 125 mm	$f \approx 0,9$ mm	
	Ø 200 mm	$f \approx 1,5$ mm	
	Ø 415 mm	$f \approx 3,1$ mm	

Fonte: SEW-Eurodrive (2007).

Com base nos dados de entrada e considerando roletes de aço, seleciona-se o braço de alavanca de 2 milímetros (material sintético contra aço).

A resistência à translação para o dimensionamento atual é apresentada na Equação (33). Observa-se que, por não existir flange lateral, o valor do coeficiente de atrito lateral (flange da roda) é 0.

$$F_F = 83,07.9,81. \left[\frac{2}{50} \left(0,005. \frac{32}{2} + 2 \right) + 0 \right] = 67,8 \text{ N} \quad (33)$$

De acordo com a SEW-Eurodrive (2007), o rendimento de redutores de rosca sem-fim situa-se entre 97 e 98%. O valor de 97% será considerado para o dimensionamento, por ser o menor rendimento possível.

O rendimento da transmissão por correntes, conforme a SEW-Eurodrive (2007), é de 91% e pode-se calcular o rendimento total das correntes em uma esteira de roletes utilizando a Equação (34). O número de voltas para o presente dimensionamento é de 18 voltas, considerando o número de roletes calculados na Equação (31).

$$n_2 = n_1^x = 0,9^{18} = 15 \% \quad (34)$$

Onde:

n_2 = rendimento total do sistema de transmissão por correntes;

n_1 = rendimento da transmissão por corrente;

x = número de voltas;

A potência estática pode então ser calculada, conforme a Equação (36).

$$P_S = \frac{67,8.0,4}{0,95.0,15.1000} = 0,2 \text{ kW} \quad (35)$$

4.2.2.2 Potência dinâmica

A potência dinâmica é apresentada na Equação (4) e depende do torque de aceleração dinâmica, que por sua vez, foi apresentado na Equação (5).

Conforme a Equação (36), o momento de inércia de massa da carga transportada é equivalente a:

$$J_{XT} = 91,2 \cdot 13 \cdot \left(\frac{0,4}{1750} \right)^2 = 6,19 \cdot 10^{-5} \quad (36)$$

Para o cálculo da massa do rolete, deve-se primeiramente descobrir seu volume. Segundo a SEW-Eurodrive (2007), o volume do rolete pode ser calculado de acordo com a Equação (37).

$$V_{rol} = \left(\frac{\pi}{4} \cdot D_2^2 \cdot l_{rol} \right) - \left(\frac{\pi}{4} \cdot D_1^2 \cdot l_{rol} \right) = 1,5 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3 \quad (37)$$

Onde:

D_2 = diâmetro externo do rolete, em metros

D_1 = diâmetro interno do rolete, em metros

l_{rol} = comprimento do rolete, em metros

Como a massa do rolete não é informada pelo fabricante, esse valor será estimado através da Equação (38) considerando que, conforme Beer et al (2015), a massa específica do aço é de 7860 kg/m³ e a massa da roda dentada é informada na Tabela 3.

$$m_{rol} = V_{rol} \cdot \rho_{aço} + 2 \cdot m_{rd} = 1,67 \text{ kg} \quad (38)$$

Em que:

m_{rol} = massa do rolete, em kg;

V_{rol} = volume do rolete, em m³;

$\rho_{aço}$ = massa específica do aço, em kg/m;

m_{rd} = massa da roda dentada, em kg;

Portanto, o momento de inércia de massa de um rolete, conforme apresentado na Equação (8), é:

$$J = 0,00107 \text{ kgm}^2 \quad (39)$$

A Equação (10) estabelece a rotação de saída necessária no sistema. O valor obtido para a rotação após a execução dessa equação é:

$$n_A = 152,8 \text{ rpm} \quad (40)$$

Pode-se então definir, conforme a Equação (9), o momento de inércia de massa de um rolete reduzida para o eixo do motor.

$$J_X = 8,1 \cdot 10^{-6} \text{ kgm}^2 \quad (41)$$

O momento de inércia de massa externa total pode ser determinado conforme a Equação (6). Seu valor é:

$$J_{XT} = 5,5 \cdot 10^{-4} \text{ kgm}^2 \quad (42)$$

Assim, o torque dinâmico da esteira de roletes é calculado com base na Equação (5), enquanto que a Equação (4) fornece a base de cálculo da Potência Dinâmica.

$$M_{DL} = 0,93 \text{ N.m} \quad (43)$$

$$P_{DL} = 0,17 \text{ kW} \quad (44)$$

A potência total do conjunto de acionamento pode então ser determinada, baseada na Equação (1).

$$P = 0,37 \text{ kW} \quad (45)$$

Após essas determinações, deve-se selecionar o conjunto motorreductor para a esteira. O motorreductor selecionado será da marca SEW-Eurodrive, entre os modelos de engrenagens sem-fim, classificados pela letra S.

Para a determinação do fator de serviço do reductor, deve-se utilizar as informações do tempo de utilização diária, a frequência de partida e a classificação de carga. A classificação de carga depende exclusivamente do fator de aceleração de massa, f_M , que é apresentado na Equação (46):

$$f_M = \frac{\text{todos os momentos de inércia externos}}{\text{momento de inércia do motor}} \quad (46)$$

Considerando os motorredutores da classe S, com potência nominal ligeiramente maior do que 0,37 kW, para a rotação de saída de 152,8 rpm, obteve-se no catálogo de motorredutores da SEW-Eurodrive (2006) o conjunto de acionamento apresentado na Tabela 26.

Tabela 26 – Conjunto de acionamento selecionado

Modelo	Rotação (rpm)	Torque (N.m)	Fator de Redução	Fator de serviço
S37 DZ80K4	154	31	10,91	1,5

Fonte: o autor (2019).

Conforme a SEW-Eurodrive (2007), o motor selecionado possui momento de inércia de massa máximo de $7,45 \cdot 10^{-4} \text{ kgm}^2$. O fator de aceleração de massa será de:

$$f_M = 0,74 \quad (47)$$

A classificação da carga, conforme a SEW-Eurodrive (2007), será realizada de acordo com o fator de aceleração de massa calculado. As classes de carga estão expostas na Tabela 27.

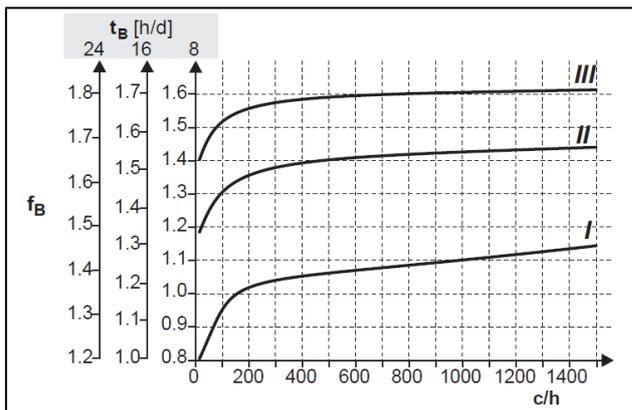
Tabela 27 – Classificação de carga

Índice	Classificação	Fator de aceleração de massa
I	Uniforme	$\leq 0,2$
II	Choque moderado	≤ 3
III	Choque severo	≤ 10

Fonte: SEW-Eurodrive (2007).

O fator de serviço para motorreductores de classe S deverá ser obtido no Gráfico 1, fornecido pela SEW-Eurodrive (2007).

Gráfico 1 – Fatores de serviço de motorreductores SEW Classe S



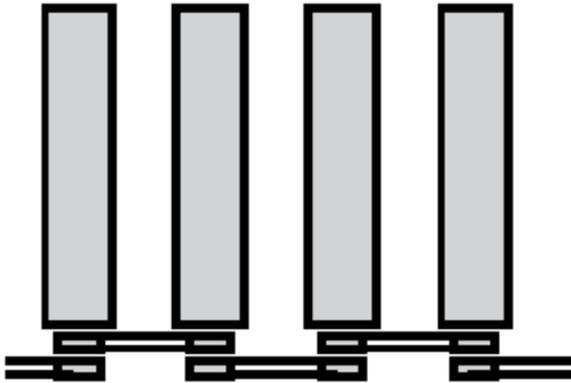
Fonte: SEW-Eurodrive (2007).

Considerando que o dimensionamento atual possui choques moderados, 200 partidas por hora e trabalho diário de 8 horas, o fator de serviço deverá ser de aproximadamente 1,35, pois a classificação de carga enquadra-se no nível II. O conjunto motorreductor selecionado atende os requisitos necessários para a utilização nessa esteira de roletas

4.3 Validação do sistema de transmissão

Conforme a delimitação do trabalho, a potência será transmitida entre roletes de forma que um rolete transmite sua potência para o outro, conforme a Figura 20.

Figura 20 – Transmissão de potência entre roletes



Fonte: SEW-Eurodrive (2007, p. 108).

Conforme o rolete selecionado, verifica-se que o número de dentes da roda dentada é de 14 dentes, e o passo da roda dentada é 12,7 milímetros. Conforme a Tabela 2, a corrente que deverá ser utilizada na transmissão de potência considerando o passo da roda dentada é a ANSI 40 ou ANSI 41. Conforme busca em fornecedores da região do Vale do Taquari, verificou-se que a corrente ANSI 40 é encontrada com maior facilidade no mercado e será utilizada no projeto atual.

Conforme a Tabela 4, a potência da corrente ANSI número 40 para uma rotação de 150 rpm, valor aproximado da rotação calculada, é obtido o valor de 0,74 HP. Considerando que 1 HP equivale a 0,745 kW, a potência admissível da corrente, H_{tab} , é de 0,55 kW.

Com base na Equação (16), obteve-se o valor corrigido da potência admissível da corrente, utilizando os fatores de correção K_1 e K_2 , obtidos nas Tabelas 5 e 6.

$$H_a = 0,44 \text{ kW} \quad (48)$$

A potência calculada corrigida, H_d , definida pela Equação (16), é apresentada abaixo na Equação (49), considerando que o fator de serviço para correntes movimentadas por motor com impactos suave é 1.

$$H_d = 0,37 \text{ kW} \quad (49)$$

Outros dois fatores que devem ser calculados na seleção de correntes de rolos é a distância entre centros e o comprimento total da corrente. O comprimento da corrente para o passo calculado na Equação (30) é determinado abaixo, conforme a Equação (17).

$$\frac{L}{p} = 31,32 \text{ elos} \quad (50)$$

Consequentemente, deve-se arredondar esse valor para um número inteiro para ter um número exato de elos. Será então utilizada a quantidade de 31 elos de corrente para o dimensionamento atual. A distância entre centros das rodas dentadas e, consequentemente, dos roletes, será calculada conforme a Equação (18) e o resultado é apresentado abaixo, na Equação (51).

$$C = 107,95 \text{ mm} \quad (51)$$

4.4 Dimensionamento das cargas axiais e cisalhantes

Para o dimensionamento dos apoios, serão utilizados os conceitos de tensão normal média. A massa total sobre os apoios, m_t , é determinada conforme a Equação (52). Considerando-se quatro apoios para a esteira, a massa total deverá ser dividida por este número. O peso sobre o apoio será determinado na Equação (53).

$$m_t = m + Q_{rol} \cdot m_{rol} = 109,5 \text{ kg} \quad (52)$$

$$P = \frac{m_t}{4} \cdot g = 268,5 \text{ N} \quad (53)$$

Inicialmente, será utilizado o perfil 80X40X2 para o dimensionamento da base. O cálculo poderá ser refeito com outro perfil caso o fator de segurança obtido não esteja adequado. A tensão sobre o apoio, conforme a Equação (24), é de:

$$\sigma = 0,76 \text{ Mpa} \quad (54)$$

Conforme a Equação (28), o Fator de Segurança para o apoio selecionado é de:

$$FS = 277 \quad (55)$$

O dimensionamento do perfil lateral estará focado na espessura do perfil, que deverá resistir à tensão de cisalhamento provocada pelos roletes durante o transporte do material. A carga sobre o rolete, C , foi definida na Equação (29), e deve-se adicionar a esse valor o peso do rolete para determinar a força cisalhante V , conforme a Equação (56).

$$V = C + (m_{rol} \cdot g) = 58,92 \text{ N} \quad (56)$$

Onde:

V = força cisalhante, em N;

m_{rol} = massa do rolete, em kg;

g = aceleração da gravidade, em m/s^2 ;

Conforme o catálogo rolete selecionado, o parafuso utilizado para sua fixação possui diâmetro externo de oito milímetros, e o furo no perfil possuirá, portanto, 9 mm de diâmetro. A espessura do perfil, por padrão, será de três milímetros. A área de esmagamento do perfil, A_{ESM} , conforme a Equação (27), será de:

$$A_{ESM} = 21,2 \text{ mm}^2 \quad (57)$$

A tensão cisalhante no perfil lateral será, conforme a Equação (26), determinada pela Equação (59).

$$\tau = 2,77 \text{ Mpa} \quad (58)$$

Conforme a Equação (25), a tensão de cisalhamento admissível do AISI 1020 será:

$$S_{ys} = 121,17 \text{ Mpa} \quad (59)$$

Obtendo-se um fator de segurança conforme a Equação (28):

$$FS = 43,7 \quad (60)$$

4.5 Desenvolvimento da planilha de cálculo para dimensionamento da esteira

Conforme os objetivos citados na introdução deste trabalho e os passos apresentados na metodologia, busca-se, ao final dos cálculos, o desenvolvimento de uma planilha eletrônica que realize o dimensionamento da esteira de roletes acionados. A planilha de cálculo desenvolvida contará com três abas principais: dados de entrada; cálculos; resultados.

A aba Dados de Entrada reúne os dados que devem ser fornecidos para o dimensionamento e seleção dos componentes. Nessa aba, pede-se que o usuário preencha as células referentes aos mesmos itens apresentados na seção 4.1, apresentada anteriormente.

Após o preenchimento dos dados de entrada, a aba Cálculos executa as equações de dimensionamento apresentadas na seção 4.2. Para dimensionamento do sistema de acionamento, forças normais e forças cisalhantes, basta a resolução das equações dos respectivos dimensionamentos. A seleção dos roletes e validação das correntes de transmissão contudo, apresentam algumas particularidades para sua execução. A lógica utilizada para realizar essas seleções será explicada a seguir.

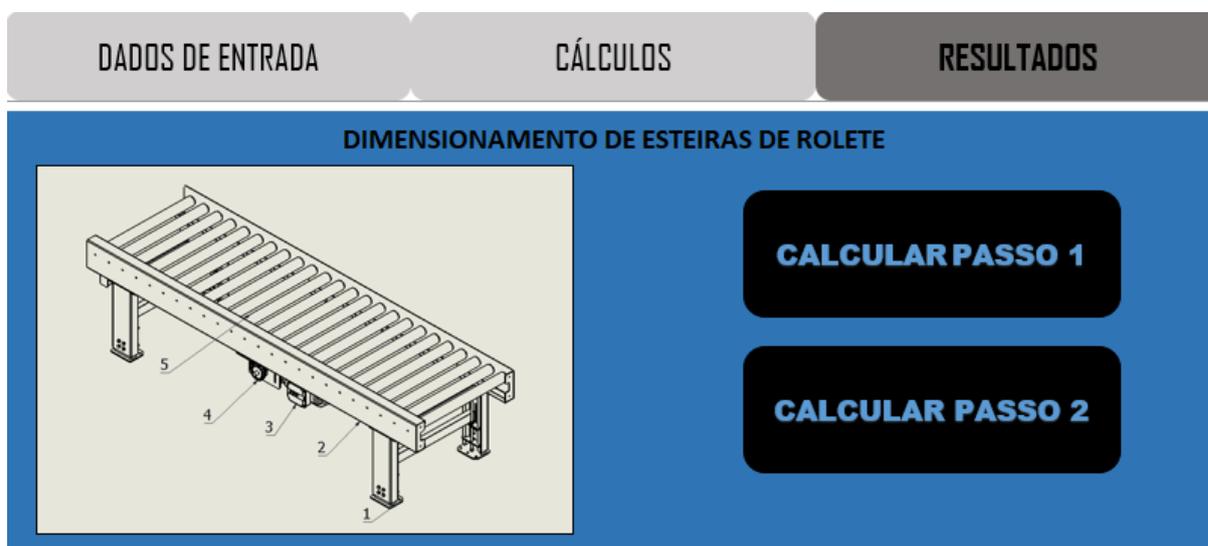
4.5.1 Seleção dos roletes no banco de dados

Conforme a Tabela 21, o banco de dados dos roletes foi elaborado conforme a Interroll (2011), e possui as cargas que os roletes suportam de acordo com o seu comprimento. A carga sobre o rolete é calculada conforme a Equação (30) e o comprimento do rolete é informado nos dados de entrada. Deve-se, portanto, enquadrar o comprimento do rolete utilizado em uma das faixas correspondentes no banco de dados dos roletes. Para tal, o valor inserido nos dados de entrada foi elevado até o primeiro valor maior existente no banco de dados através da função SE.

Realizou-se então um filtro avançado sobre o banco de dados dos roletes, com o objetivo de realizar a seleção primária. Esse primeiro filtro avançado contou com a informação sobre a linha leve ou pesada e o tipo de elemento de transmissão da esteira, além dos dados informados no capítulo anterior.

O critério de seleção do rolete, informado nos dados de entrada, foi utilizado para um segundo filtro avançado, determinando o rolete exato a ser utilizado na esteira calculada. Ressalta-se que o filtro avançado no Microsoft Excel é uma operação manual, portanto, foram criadas duas sequências de operações pela função Macro, que devem ser ativadas pelo usuário ao clicar nos botões “Calcular passo 1” e “Calcular passo 2”, na seção de resultados da planilha, conforme a Figura 21.

Figura 21 – Interação manual para dimensionamento da esteira



4.5.2 Obtenção dos dados das correntes para verificação da aplicação

De forma semelhante ao exposto acima, necessita-se inserir um banco de dados das correntes utilizadas na esteira para a obtenção dos seus valores de potência admissível. A Tabela 28 apresenta o banco de dados criado para as correntes, com base na Tabela 4.

Tabela 28 – Capacidades de correntes ANSI adaptada para Excel

TABELA CAPACIDADE SHIGLEY PARA ANSI		
RPM	CAPACIDADE (kW)	
	ANSI 40	ANSI 50
50	0,2058	0,4023
100	0,37485	0,73755
150	0,5439	1,06535
200	0,7056	1,39315
300	1,0143	2,00405

Fonte: o autor (2019).

Conforme a Tabela 2, a corrente ANSI 40 possui passo de 12,7 mm e a ANSI 50 tem passo de 15,88 mm. Essa informação foi inserida em um banco de dados de correntes, para que, utilizando a função PROCV, a potência admissível da corrente, H_{tab} , seja selecionada, em função da rotação de saída do motorreductor. O coeficiente K_1 foi igualmente tabelado e selecionado com a mesma função, dependendo exclusivamente do número de dentes da roda dentada do rolete, enquanto que K_2 será sempre igual a 1, pois não se admite número de fileiras maior do que uma.

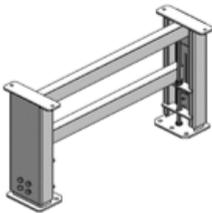
Com as informações obtidas dos bancos de dados, aplicam-se as Equações (15) a (19), referentes à transmissão de potência por correntes de rolos dimensionada na seção 4.3.

4.5.3 Resultados

A aba resultados apresenta, de forma clara, as informações retiradas dos cálculos e seleções para que o projetista possa realizar o projeto executivo de uma esteira de roletes acionados. Os resultados obtidos para a esteira dimensionada neste trabalho estão dispostos abaixo, conforme as Figuras 22 a 26.

Figura 22 – Resultados: base da esteira

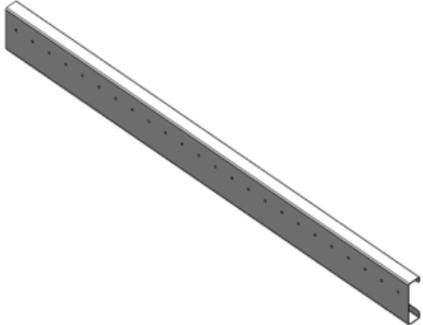
1 - BASE DE SUSTENTAÇÃO		
Para a esteira, selecionou-se a base com perfil:	80X40X2	
A tensão normal média na base é de	0,76	Mpa
Tensão de escoamento admissível	210	Mpa
Fator de segurança	277	-



Fonte: o autor (2019).

Figura 23 – Resultados: perfil lateral

2 - PERFIL LATERAL		
Espessura do perfil lateral	3	milímetros
Comprimento total	2110	milímetros
Diâmetro do furo para parafuso fixador	9	milímetros
Distância entre centros dos furos	107,95	milímetros
Tensão de cisalhamento média	2,77	Mpa
Tensão de cisalhamento admissível	121,17	Mpa
Fator de segurança	43,77	-



Fonte: o autor (2019).

Figura 24 – Resultados: acionamento

3 - ACIONAMENTO			
Potência necessária para movimentar a esteira	0,37	kW	<p>Atenção: Algumas informações deverão ser inseridas nesse módulo para o correto dimensionamento do acionamento.</p> 
Rotação Nominal do Motor (aproximada)	1750,00	rpm	
Rotação de Saída para a velocidade definida	152,8	rpm	
Fator de redução	11,45	-	
Insira o momento de inércia do motor selecionado	0,000745	kgm ²	
Fator de serviço do redutor	Clique para verificar o fator de serviço		
Fator de serviço definido	1,35	-	

Fonte: o autor (2019).

Figura 25 – Resultados: transmissão

4 - TRANSMISSÃO			
Passo da corrente	12,7	milímetros	
Norma e série da roda dentada	ASA/ANSI 40	-	
Número de dentes da roda dentada	14	dentes	
Potência transmitida pela corrente	0,36	kW	
Capacidade de transmissão da corrente	0,44	kW	
Fator de segurança	1,21	-	
Comprimento de corrente necessário (estimado)	7,56	metros	

Fonte: o autor (2019).

Figura 26 – Resultados: roletes

5 - ROLETES			
Série do rolete	3500	-	
Diâmetro do rolete selecionado	50	milímetros	
Quantidade de roletes	19		
Carga admitida no rolete selecionado	1760	newtons	
Número de rodas dentadas	2	-	
Passo da roda dentada	12.7	milímetros	
Diâmetro do eixo	14	milímetros	
Material do rolete	Aço	-	

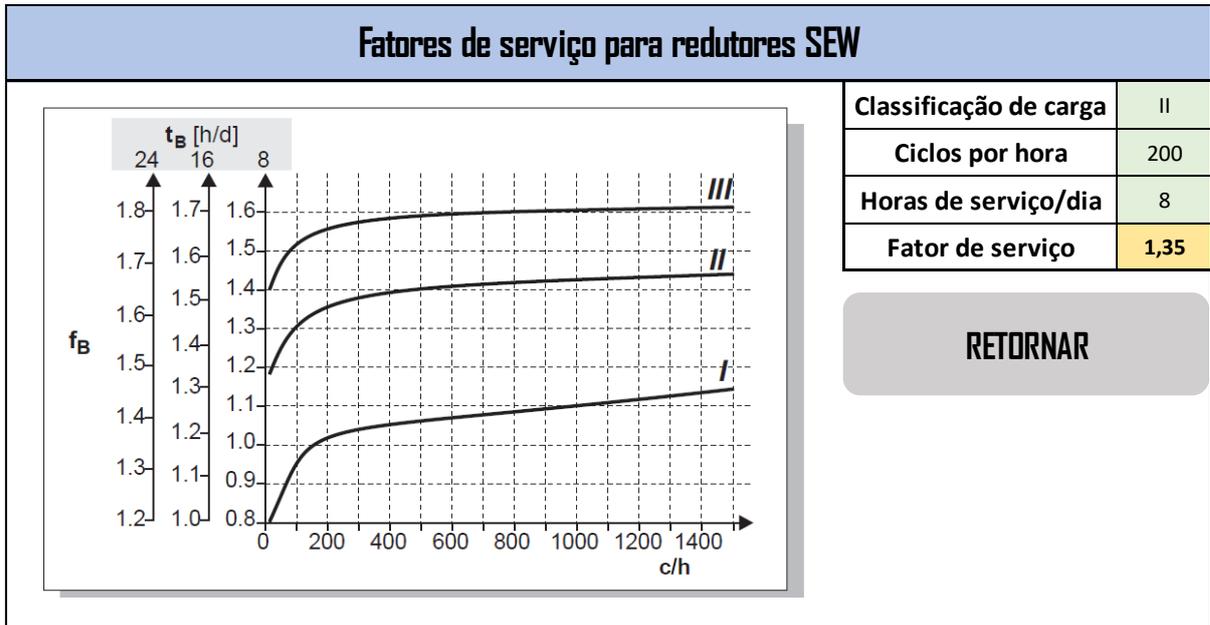
Fonte: o autor (2019).

4.5.4 Determinação do fator de serviço

Conforme explicado na Seção 4.2.2.2, o momento de inércia do motor deve ser considerado para a determinação do fator de aceleração de massa, que por sua vez tem influência no fator de serviço do motorreductor. Na planilha, foi inserido nos resultados um campo para a inserção do momento de inércia do motor, conforme a seleção realizada.

Como apresentado no Gráfico 1, a seleção do fator de serviço depende da análise das curvas que caracterizam a classificação de cada carga. Portanto, o fator de serviço deverá ser selecionado pelo projetista, conforme a Figura 27.

Figura 27 – Resultados: fator de serviço do acionamento



Fonte: o autor (2019).

Após a obtenção do fator de serviço, considera-se que todos os itens necessários para o modelamento e projeto executivo de uma esteira de roletes são conhecidos.

5 CONCLUSÃO

Este trabalho apresentou os principais componentes de uma esteira de roletes acionados: 1) base de sustentação; 2) perfil lateral; 3) motorreductor; 4) sistema de transmissão; 5) roletes. Os conceitos relacionados a cada um destes componentes foram apresentados e buscou-se explicar detalhadamente a função que cada item executa dentro do sistema no qual está inserido. Com base nessas informações, foram analisadas as variáveis que compõem este sistema, definindo as informações de entrada necessárias para o dimensionamento.

Os dados de entrada e as equações de dimensionamento de cada componente, encontrados em bibliografias da área de engenharia e em catálogos de fabricante dos componentes, permitiram definir uma sequência de cálculos que determinaram suas configurações. Embora a literatura ofereça os conceitos de cada componente, não foram encontrados manuais de dimensionamento normatizados para a construção e o dimensionamento de esteiras de rolete, diferentemente de outros tipos de esteiras, que possuem manuais técnicos e normas nacionais de dimensionamento. Deste modo, o presente estudo contribui para novas pesquisas como um guia na área de transporte de materiais leves e pesados com esteiras de roletes acionados.

Para que diversas configurações de esteira possam ser testadas e dimensionadas com facilidade, agilidade e assertividade pelo engenheiro projetista, foi desenvolvida uma planilha de cálculo que reúne os dados de entrada, o banco de dados de fornecedores e as equações de dimensionamento. Esta planilha possibilita diversas combinações de componentes, para diversas aplicações, indo ao encontro da versatilidade das esteiras de roletes.

Observando os resultados obtidos no dimensionamento da esteira de roletes proposta, verifica-se que a potência para o transporte do produto, cujo valor é de 0,37 kW, não é elevada, se comparada aos casos de utilização de motorreduzores elétricos em transportes de produtos. Mesmo assim, o correto dimensionamento se torna importante, uma vez que as alterações logísticas em uma planta fabril contam com longas distâncias de transporte. Os roletes, nestes casos, podem variar conforme a aplicação do projetista, porém a planilha criada facilita a seleção destes equipamentos, já que o processo é feito conforme equações do fabricante dos componentes.

Verifica-se, portanto, que o objetivo principal do trabalho foi alcançado com êxito, pois a planilha desenvolvida e os resultados do dimensionamento forneceram a especificação do componente necessário ou os dados para a seleção desse item. Considerando o banco de dados de roletes utilizado, a planilha pode selecionar roletes com até 1600 milímetros de diâmetro, com carga admissível máxima de, no máximo 5000 Newtons de carga aplicada. Em relação a estrutura lateral e a base, deve-se observar o fator de segurança obtido e, conforme o critério de segurança definido pelo projetista, validar ou não o perfil utilizado.

REFERÊNCIAS

- BACK, Nelson; et al. **Projeto integrado de produtos: planejamento, concepção e modelagem**. Barueri: Manole, 2013.
- BEER, Ferdinand P.; et al. **Mecânica dos materiais**. 7. ed. Porto Alegre: AMGH, 2015.
- BUDYNAS, Richard G.; NISBETT, J. Keith. **Elementos de máquinas de Shigley: projeto de engenharia mecânica**. 8. ed. Porto Alegre: AMGH, 2011.
- CALLISTER JR., William D.; RETHWISCH, David G. **Ciência e engenharia de materiais: uma introdução**. 8. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2013.
- CUNHA, Lamartine Bezerra da. **Elementos de máquinas**. Rio de Janeiro: LTC, c2005.
- GIL, Antonio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 3. ed. São Paulo: Atlas, 1996.
- GROOVER, Mikell P. **Automação industrial e sistemas de manufatura**. 3. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2015.
- HIBBELER, Russel Charles. **Resistência dos materiais**. 5. ed. São Paulo: Prentice Hall, 2004.
- INTERROLL. **Planning Basis**. 2011. Disponível em: < https://www.interroll.se/fileadmin/user_upload/Downloads__PDF_/Rollers/Catalog_2018/Planning_section.pdf>. Acesso em: 18 fev. 2019.
- INTERROLL. **Roletes de Transporte**. 2011. Disponível em: <https://www.interroll.com.br/fileadmin/user_upload/AMERICAS/BRAZIL/catalogo_novo.pdf>. Acesso em: 18 fev. 2019.
- LAKATOS, Eva Maria; MARCONI, Marina de Andrade. **Fundamentos de metodologia científica**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2003.
- LAMB, Frank. **Automação industrial na prática**. Porto Alegre: AMGH Editora Ltda. 2015.

MADLEŇÁKOVÁ, Lucia et. al. **Solutions of the Roller Conveyor in Terms of Logistics Provider**. Advances in Science and Technology Research Journal. v. 12, n. 4, p. 1-9, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.12913/22998624/92098>>. Acesso em: 13 maio 2019.

MOTT, Robert L. **Elementos de máquinas em projetos mecânicos**. 5 ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil Ltda., 2015. E-book. Disponível em: <<https://bv4.digitalpages.com.br>>. Acesso em: 14 abril 2019.

NORTON, Robert L. **Projeto de máquinas: uma abordagem integrada**. 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013

NSK. **Rolamentos**. 2013. Disponível em: <[http://nsk.com.br/upload/file/Cat%C3%A1logo%20Geral%20NSK\(1\).pdf](http://nsk.com.br/upload/file/Cat%C3%A1logo%20Geral%20NSK(1).pdf)>. Acesso em: 12 out. 2019

PRODANOV, Cleber Cristiano. **Metodologia do trabalho científico: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico**. 2 ed. Novo Hamburgo: Editora Feevale, 2013. E-book. Disponível em: <<https://www.feevale.br/>>. Acesso em: 15 abr. 2019.

ROMANO, V. F. **Robótica Industrial: aplicação na indústria de manufatura e processos**. São Paulo: Editora Edgard Blücher LTDA, 2002.

RUDENKO, N. **Máquinas de elevação e transporte**. Livros Técnicos e Científicos. Tradução João Plaza. Rio de Janeiro: Editora S.A, 1976.

SERWAY, Raymond A.; JEWETT JR., John W. **Princípios de física**. São Paulo: Cengage Learning, 2008.

SEW-EURODRIVE. **Motorreductores**. 2006. Disponível em <<https://download.sew-eurodrive.com/download/pdf/10541780.pdf>>. Acesso em: 20 abr. 2019.

SEW-EURODRIVE. **Seleção de acionamentos: Métodos de cálculo e exemplos**. Volume 1. 2007. Disponível em: <https://download.sew-eurodrive.com/download/pdf/BR_10523801.pdf>. Acesso em: 20 abr. 2019.

SHIGLEY, Joseph E.; MISHKE, Charles R.; BUDYNAS, Richard G. **Projeto de engenharia mecânica**. 7. ed. Porto Alegre: Bookman, 2008.

SLACK, N.; et al. **Administração da Produção**. 2 ed., São Paulo: Atlas. 2002.

TSUBAKI. **Correntes de transmissão**. 2012. Disponível em <<http://tsubaki.ind.br/wp-content/uploads/tsubaki/2012/09/Correntes-de-Transmissao-Portugues.pdf>>. Acesso em: 15 out. 2019.



UNIVATES

R. Avelino Tallini, 171 | Bairro Universitário | Lajeado | RS | Brasil
CEP 95900.000 | Cx. Postal 155 | Fone: (51) 3714.7000
www.univates.br | 0800 7 07 08 09